

肺磨玻璃结节治疗的研究进展

刘璐璐¹, 郭志远^{2*}, 张贵平²

¹承德医学院研究生学院, 河北 承德

²邯郸市中心医院肿瘤内二科, 河北 邯郸

收稿日期: 2026年7月8日; 录用日期: 2026年8月2日; 发布日期: 2026年8月13日

摘要

肺磨玻璃结节(ground-glass nodules, GGNs)是肺癌筛查中常见的CT影像学表现, 多数呈惰性生长、进展缓慢, 但部分可进展为浸润性肺癌。因此, 对GGNs进行准确的危险分层对于指导临床决策具有重要意义, 低危结节以观察随访为主, 高危结节则需及时治疗干预。近年来, 随着外科手术、影像引导下微创消融及立体定向体部放射治疗(stereotactic body radiotherapy, SBRT)等局部治疗技术的不断发展, GGNs患者的治疗选择日趋多样化。不同治疗方式在适应证、局部控制效果、肺功能保护及并发症等方面各具特点, 如何根据患者及病灶特征制定个体化治疗策略仍是临床关注的重点。本文围绕GGNs的主要局部治疗方式, 对外科手术、射频消融(radiofrequency ablation, RFA)、微波消融(microwave ablation, MWA)、冷冻消融(cryoablation, CA)及SBRT的临床应用现状、治疗效果、安全性及研究进展进行综述, 并分析目前存在的问题及未来发展方向, 以期对GGNs的精准诊疗和临床决策提供参考。

关键词

肺磨玻璃结节, 外科手术, 射频消融, 微波消融, 冷冻消融, 立体定向体部放射治疗

Research Progress on the Treatment of Lung Ground-Glass Nodules

Lulu Liu¹, Zhiyuan Guo^{2*}, Guiping Zhang²

¹Graduate School, Chengde Medical University, Chengde Hebei

²Department of Oncology II, Handan Central Hospital, Handan Hebei

Received: July 8, 2026; accepted: August 2, 2026; published: August 13, 2026

Abstract

Ground-glass nodules (GGNs) are common CT imaging findings in lung cancer screening. Most

*通讯作者。

文章引用: 刘璐璐, 郭志远, 张贵平. 肺磨玻璃结节治疗的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(8): 908-915.

DOI: 10.12677/acm.2026.1682865

GGNs exhibit indolent growth and slow progression, whereas a subset may progress to invasive lung cancer. Therefore, accurate risk stratification of GGNs is essential for guiding clinical decision-making. Low-risk nodules are generally managed with surveillance, whereas high-risk nodules require timely therapeutic intervention. In recent years, with the continuous advancement of local therapeutic techniques including surgical resection, image-guided minimally invasive ablation and stereotactic body radiotherapy (SBRT), the treatment options for patients with GGNs have become increasingly diversified. Different treatment modalities have their respective characteristics in terms of indications, local control efficacy, pulmonary function preservation and complication profiles. How to formulate individualized therapeutic strategies according to patient and lesion features remains a key clinical concern. Focusing on the major local therapies for GGNs, this article reviews the current clinical application, therapeutic efficacy, safety and research progress of surgical resection, radiofrequency ablation (RFA), microwave ablation (MWA), cryoablation (CA) and SBRT. In addition, it analyzes the existing problems and future directions, so as to provide references for precise diagnosis and treatment as well as clinical decision-making of GGNs.

Keywords

Lung Ground-Glass Nodules, Surgery, Radiofrequency Ablation, Microwave Ablation, Cryoablation, Stereotactic Body Radiation Therapy

Copyright © 2026 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

肺癌是全球发病率和死亡率最高的恶性肿瘤之一，早期诊断和及时干预是改善患者预后的关键。GGNs 具有复杂的病理谱系和异质性的生物学行为[1]，其规范化诊疗已成为肺结节管理和早期肺癌精准治疗的重要内容[2]。随着低剂量计算机断层扫描(low-dose computed tomography, LDCT)在肺癌筛查中的广泛应用，GGNs 的检出率显著提高。GGNs 是胸部 CT 检查中常见的影像学表现，其病理类型涵盖炎症、局灶性纤维化、非典型腺瘤样增生、原位腺癌、微浸润性腺癌及浸润性腺癌等多种疾病，具有明显的生物学异质性[3]。部分 GGNs 可长期保持稳定，仅需定期影像学随访；而部分病灶则可能逐渐进展为浸润性肺癌[4]，因此，准确评估其恶性风险并选择合理的治疗策略，对于改善患者长期预后具有重要意义。近年来，随着胸外科、介入治疗及放射治疗技术的不断发展，GGNs 的治疗理念逐渐由传统单一手术模式向精准化、微创化及个体化方向发展。目前，外科手术仍是可切除恶性病变的主要根治性治疗方式[5]，而影像引导下 RFA、MWA 及 CA 等微创技术，因具有创伤小、恢复快及肺功能保护较好的优势[6]，为不能耐受手术或希望保留更多肺实质的患者提供了新的治疗选择[7]。与此同时，SBRT 凭借其高精度、无创的特点，在早期肺癌及部分 GGNs 患者中也显示出良好的局部控制效果[8]。然而，不同治疗方式在适应证、疗效、安全性及长期预后等方面仍存在一定差异，如何根据病灶影像学特征、生物学行为及患者个体情况进行精准风险分层和合理治疗选择，仍是当前 GGNs 诊疗领域关注的重点。基于此，本文对近年来 GGNs 主要局部治疗方式的研究进展进行综述，重点总结外科手术、RFA、MWA、CA 及 SBRT 的作用机制、临床疗效、安全性、适应证及局限性，并结合国内外相关研究进展，对 GGNs 精准治疗的发展趋势进行分析与展望，以为临床实践及相关研究提供参考。

2. 肺磨玻璃结节(GGNs)的消融治疗

2.1. 微波消融(MWA)

MWA 是一种近年来广泛应用于肺结节、早期肺癌的微创热消融介入治疗技术,该技术通常在精准的影像设备引导下,首先通过物理热效应靶向损毁病灶组织,进行局部精准消融,促使病灶组织及周围滋养血管在高温的作用下发生凝固、坏死,再经由同轴套管通道获取病理组织标本,完成病理学检测[9]。与传统的外科手术相比,MWA 具有疗效确切,创伤小,安全性高,操作相对简便,并发症发生率较低等优势,整体治疗效果与传统术式相近,因此逐渐成为肺部疾病微创治疗的重要手段之一,并且对于肿瘤直径超过 25 毫米、靠近直径超过 3 毫米的血管肿瘤或多病灶,MWA 的比 RFA 能发挥更好的临床效果[10]。从作用机制来看,MWA 通过消融针发射高频微波,在病灶周围形成局部电磁场,促使组织内极性水分子发生高速震荡和重新排列,短时间内产生大量热能,使病灶及周围受累组织温度迅速升高,进而引发组织蛋白变性、凝固性坏死及局部微血管闭塞,最终实现病灶的根治性控制[11]。近年来已有多项研究证实了 MWA 治疗肺部病变的临床有效性及安全性。Xin 等人对 38 例肺肿瘤患者进行消融治疗,结果显示均达到完全消融,消融成功率 100%,术后随访 10.2 ± 2.9 个月,随访期间无复发、死亡案例,该研究的主要术后不良反应为疼痛,发生率为 47.4%,主要并发症为气胸,发生率为 31.6%,其中仅 1 例出现大量气胸,经胸腔闭式引流后完全治愈[12]。李等对 124 例经 MWA 治疗肺磨玻璃结节的患者进行分析,结果显示完全消融率达 95.16%,术后 1 月内无死亡病例,患者生存时间均超过 6 个月,证实该术式对磨玻璃结节有较好的近期治疗效果,能有效控制病灶进展,保障患者生存获益,但在实际临床工作中,需重视术后并发症的监测与管理,进一步提升治疗安全性[13]。相关研究表明,肺结节 MWA 联合术中穿刺优势显著,术中取得活检组织可同时满足病理诊断及肿瘤基因检测要求[14],兼具诊断与治疗双重价值。现有研究表明,该微创术式操作简便,治疗有效率高,整体并发症风险低,安全可行,临床推广价值较高,适用于大病灶及复杂病灶,为肺结节及早期肺癌患者提供了新的综合治疗方案,MWA 联合同步活检有望在肺部疾病的精准微创治疗领域中发挥更加重要的作用。

2.2. 射频消融 RFA

RFA 是最早应用于肺部病灶治疗的热消融技术,目前已广泛应用于临床。其原理是利用电极释放高频交流电,使组织内离子高速振动产生热能,进而使局部组织温度迅速升高,引起肿瘤组织凝固性坏死,达到灭活病灶的目的[15]。CT 引导下 RFA 具有微创、安全性较高、对正常肺组织损伤小等优势,术后气胸、出血、胸腔积液及肺部感染等并发症发生率低,是一种疗效确切且具有良好临床应用价值的局部治疗手段[16]。魏等的相关研究显示,在 20 例接受 CT 引导下术中穿刺活检联合 RFA 治疗的肺结节患者中,仅 3 例出现气胸,所有患者术后均未发生咯血,病理回报 16 例确诊恶性肿瘤。研究表明,CT 引导下 RFA 联合穿刺活检不仅能够获得较高的恶性肺结节的病理诊断率,而且具有良好的安全性和可行性[17]。谭等人对 24 例接受 RFA 的肺磨玻璃结节患者进行了回顾性分析,结果显示所有患者均未发生围术期死亡及严重并发症,中位随访 25 个月局部控制率达 100.0%。Kaplan-Meier 生存分析显示,患者 1 年和 2 年总体生存率均为 95.8%,肿瘤特异性生存率均为 100.0%。进一步证实了该技术的安全性及有效性,与魏等的研究结论一致[18]。尽管 RFA 具有良好的临床疗效,但仍存在一定局限性,当病灶邻近大血管或大气道时,可因热沉效应导致消融温度不足,影响消融范围及治疗效果。此外,对于直径大于 3 cm 的较大病灶,RFA 消融范围有限,往往需要多次重叠消融,治疗效率相对较低;同时,由于射频电流可能对心脏起搏器及植入式心脏转复除颤器产生电磁干扰[19],RFA 技术成熟稳定,更适用于小病灶及解剖条件较理想的患者,在临床应用中需严格把握适应症,术前进行充分评估并选择个体化治疗方案。

2.3. 冷冻消融 CA

CA 是一种通过低温诱导组织坏死的局部消融技术,其主要机制是通过快速降温使细胞内外形成冰晶,引起细胞脱水皱缩、细胞膜及细胞器膜结构破坏,在复温过程中进一步导致微循环障碍和细胞凋亡,最终实现病灶组织灭活。CA 术中会形成边界清晰的“冰球”,可在影像引导下实时观察消融范围、形态、及位置,有助于提高消融的准确性,并且能够较好地保留组织结构及生物学特性,有利于提高病理标本质量和病理诊断准确性[20] [21]。此外,由于低温具有一定镇痛作用,患者术中术后疼痛较轻[22],因此对于临近胸膜、膈肌、大气道等危险结构的肺结节有良好的适用性[23]。近年来研究发现,除了直接导致肿瘤细胞坏死,CA 还可以促进肿瘤特异性抗原释放,激活机体抗肿瘤免疫应答,为 CA 联合免疫治疗提供了理论基础[24] [25]。一项比较 CA 与 RFA 治疗非小细胞肺癌(Non-small cell lung cancer, NSCLC)的 Meta 分析显示,CA 患者 3 年无病生存率显著高于 RFA,并发症发生率及局部复发率更低,提示 CA 的远期预后更具优势[26]。张等比较了 MWA 与 CA 的治疗肺肿瘤的临床疗效,结果显示两组近期客观缓解率及长期无进展生存期(PFS)、总生存期(OS)差异均无统计学意义,但 CA 组术后疼痛、发热发生率低,原位复发风险更小,而咯血发生率高于 MWA 组。说明两种消融方式都有良好的治疗效果,但各具优势和适应症[27]。尽管 CA 有良好的局部控制效果及患者耐受性,但仍有一定的局限性。CA 无热消融所具有的及时凝固止血作用,同时术中可导致血小板消耗,因此穿刺道出血风险相对较高,对于凝血功能异常患者存在手术禁忌[28]。此外,CA 存在一些特有并发症,术中低温刺激可诱发冷冻休克,继发性心律失常甚至心搏骤停;冰晶脱落亦可能诱发肺栓塞、脑卒中等血栓栓塞事件[29]。CA 在镇痛及免疫潜力方面具有优势,但出血风险限制其广泛应用,CA 术中需加强监护,积极预防和处理相关并发症,以提高治疗安全性。

3. 外科手术

目前,外科手术仍然是肺结节诊断与治疗的重要手段,尤其适用于高度可疑恶性或性质未明确的肺结节。在常规活检方式无法有效取材或难以获取组织标本的当下,外科活检不仅能够获得充足的组织样本用于病理诊断与分子检测,也可在明确恶性病变后同期完成病灶切除,实现诊断与治疗一体化[30]。近年来,胸腔镜手术(VATS)因诊断准确率高、创伤小、术后恢复快及近期疗效良好等优势,已成为孤立性肺结节外科治疗的主要方式[31]。现阶段临床用于肺结节及早期肺癌的手术方式包括肺楔形切除术、肺段切除术和肺叶切除术,不同术式各具优势,应根据病灶大小、位置、病理类型及患者身体一般情况综合选择。相关临床研究证实,肺段切除术在保证临床疗效的基础上,能有效缩短手术时长,减少术中出血量,并且能够最大限度保留肺组织,减少手术对肺功能的影响,降低术后并发症发生风险,具备良好的临床应用价值[32] [33]。肺叶切除术作为早期 NSCLC 的经典标准术式,具有良好的局部控制效果和长期生存获益,微创手术模式下创伤更小、术后疼痛程度轻、患者康复周期短,且未明显增加围手术期并发症发生率,临床安全性可靠[34]。肺楔形切除术手术操作相对简单,手术入路精简,能够降低术中出血风险、缩短手术时间,该术式仅切除局部病变肺组织,对肺部整体解剖结构及生理功能干预程度极低,有效保留大部分正常肺组织,在肺功能维持上具有优势,因此适用于周围型小结节、肺功能储备较差或需获取病理诊断的患者[35]。一项对比胸腔镜肺叶切除术与亚肺叶切除术治疗亚厘米 NSCLC 的回顾性研究显示,两组术后肿瘤标志物水平、1 年生存率无显著差异;亚肺叶切除围术期恢复更快、术后肺功能保留更好,并发症更少,更适用于亚厘米 NSCLC 人群[36]。低剂量 CT 筛查在肺癌筛查中广泛应用,肺癌相关死亡率得到了一定程度的降低,但同时也带来了较高的假阳性率,尽管目前肺结节风险评估逐渐规范,临床筛查工作严格遵循肺-RADS 指南规范开展,但良性结节的外科切除现象仍难以完全避免,约有 15%

的肺结节手术最终病理证实为良性病变[37]。因此,对于部分低风险或癌前病变,过早使用胸腔镜切除仍存在一定局限性:一方面,过早手术可能导致正常肺组织不必要切除,导致患者肺功能受损;另一方面,多发性肺结节目前尚无统一的手术方式选择标准,术后残留结节的随访管理也缺乏规范化诊疗依据,临床决策仍有较大争议;此外,对于术前高度怀疑恶性的肺结节,若术后病理为良性病变,则可能造成不必要的手术创伤及术后并发症发生风险[38]。综上所述,外科手术在 GGNs 诊疗中仍占据重要地位,但如何精准把握手术适应症,合理选择手术时机及优化术式选择,以在保证肿瘤学疗效的同时最大限度地保护肺功能、减少过度治疗,仍然是目前 GGNs 精准诊疗领域需进一步研究的重要方向。

4. 立体定向放疗(SBRT)

SBRT 是一种非侵入性的高精度放射治疗技术,通过多角度、高剂量照射实现肿瘤精准灭活,并利用陡峭的剂量梯度保护周围正常组织[39]。近年来,SBRT 已成为无法耐受手术或拒绝手术的早期 NSCLC 患者的重要局部治疗方式,临床应用日益广泛。近年来,多项研究证实了 SBRT 治疗 GGNs 及早期肺癌的有效性和安全性。一项纳入了 84 例影像学表现为 GGNs、经病理确诊肺癌,或病灶进展、PET 检查阳性的患者研究显示,所有患者均接受 SBRT 治疗,中位随访 33 个月,未发生局部病灶复发及区域淋巴结转移。3 年远处转移率仅为 2.6%,3 年肿瘤特异性生存率和总生存率分别达到 98.2%和 94.6%。且无 4 级以上治疗相关不良事件。该研究充分证实,对于临床或病理 I 期、磨玻璃成分占优势(CTR < 50%)的肺癌患者具有良好的局部控制能力和长期生存获益[40]。另一项纳入了 239 名早期肺癌患者(T1-2N0M0)接受 SBRT 的研究显示。病灶中磨玻璃成分(GGO)的存在是肺癌特异性生存率(LCSS)和无进展生存期(PFS)的独立预后因素,与实性结节相比,亚实性结节患者接受 SBRT 的预后更好,局部复发率更低。提示 GGO 成分可以作为 SBRT 患者风险分层、指导临床决策的重要参考指标。SBRT 与其他局部治疗手段的对比研究也取得了较多进展[41]。一项比较 SBRT 与经皮局部肿瘤消融(LTA)治疗 NSCLC 的相关研究发现,对于肿瘤直径 ≤ 2.0 cm 的患者,两种治疗方式的总体生存率(OS)无明显差异[42]。另一项比较 CT 引导下 RFA 与 SBRT 对多原发非小细胞肺癌(MPLC)的研究显示。两组患者 1 年局控率分别为 92%和 86%,RFA 组 1、2 年无进展生存率分别为 92%和 86%,SBRT 组分别为 83%和 72%。两组治疗相关不良反应均可耐受。研究认为,对于因高龄、心肺功能不全或伴随其他疾病而无法耐受手术的 MPLC 患者,RFA 和 SBRT 均具有良好的局部控制效果及安全性[43]。此外,一项 Meta 分析比较了 SBRT 于 VATS 治疗早期肺癌的疗效,结果显示,在校正患者年龄和可手术性等混杂因素前,VATS 治疗总体获益优于 SBRT;然而,对于合并心肺疾病不能耐受手术的高龄患者,SBRT 仍有较好的临床获益[44]。尽管 SBRT 有无创、安全、局部控制率高等优势,但治疗前明确病理诊断仍是目前临床的基本原则,依据指南仍建议在患者行 SBRT 治疗前,获取病理组织明确恶性肿瘤的组织学诊断。然而,在临床实践中,部分接受 SBRT 治疗的患者由于肺部储备不足、合并严重基础疾病、或病灶位置特殊,活检风险高而无法实施。对于此类患者,应通过多学科团队(MDT)讨论,在充分权衡获益与风险后决定是否实施经验性 SBRT 治疗[45]。因此,SBRT 的应用应坚持个体化和多学科决策原则,以进一步提高治疗的精准性和安全性。

5. 总结与展望

本文系统梳理了各类微创消融术、外科手术、SBRT 在 GGNs 治疗中的应用特点,各类治疗方式的优劣、适用局限及安全风险各具特征。在肺磨玻璃结节的全程管理中,需要兼顾病灶客观特征、患者全身情况及治疗意愿从而进行个体化临床决策。对于实行成分占比高、局限性较好、影像学提示恶性侵袭风险较高的 GGNs,外科手术仍是优先推荐的根治性治疗策略,其不仅能实现病灶完整切除,还可同时完成淋巴结评估和病理分期,然而,外科治疗创伤相对较大,对患者心肺功能要求较高,因此术前需充分

评估患者整体状况及手术风险。对于高龄、合并心肺基础疾病、凝血功能异常或无法耐受全麻及外科手术的 GGNs 患者,可选择 CT 引导下穿刺联合消融或 SBRT 等微创或无创治疗策略。其中,经皮穿刺消融能够在获取病理组织的同时完成局部病灶灭活,兼具诊断与治疗价值;在消融治疗体系中,不同技术的临床应用场景存在明显差异,RFA 最早应用于临床,安全稳定,但对于较大病灶及邻近大血管或大气道的病灶有应用限制;MWA 治疗操作简便、临床适用性广,但应注意术后并发症的监测与管理;CA 技术局部控制效果好,患者耐受度高,但其出血及血栓栓塞风险不容忽视,需要依托完善的术前评估、规范的术中操作及系统化术后随访,以保障手术安全。SBRT 是一种非侵入性局部治疗方式,可在保证较高局部控制率的同时减少对正常肺组织的损伤,尤其适用于拒绝手术或介入治疗以及无法耐受外科手术的患者,为其提供了有效的根治性替代方案。但由于 GGNs 良恶性及病理类型存在异质性,在实施 SBRT 前应尽可能获得病理学诊断,并依托精准靶区勾画及剂量设计,在保证疗效的同时最大程度降低正常肺组织及邻近重要器官的放射损伤风险。

综上,GGNs 的临床治疗需坚持分层、精准、个体化的诊疗原则,结合病灶解剖特征与患者全身状况灵活选择单一或联合干预方案,在保证局部控瘤效果的同时最大限度保留肺功能、减少医源性损伤。目前,各类治疗方式均可获得较好的局部控制效果,但缺乏高质量的直接对比研究,其长期疗效及最佳适应边界仍有待进一步明确。同时,风险分层体系尚未完全统一,临床管理仍存在一定异质性,使部分患者在随访观察与积极干预之间的决策仍存在不确定性。未来研究应重点完善多维度风险分层模型,并加强多中心前瞻性研究,以进一步明确不同治疗方式的长期疗效及适用范围。同时,人工智能的影像分析模型及多模态数据融合技术的发展,有望提升结节生物学行为预测能力,从而优化临床决策路径。在此基础上,多学科协作机制将在 GGNs 管理中发挥更加重要的作用,实现更加规范化和一致性的临床决策支持体系,从而提升整体诊疗质量并改善患者长期预后。

参考文献

- [1] 邹智, 窦社伟, 李中林, 等. 同步微波消融治疗对高度可疑恶性肺结节患者行 CT 引导下经同轴套管穿刺活检的效果和安全性[J]. 内科, 2022, 17(3): 329-331.
- [2] 中华医学会呼吸病学分会, 中国肺癌防治联盟专家组. 肺结节诊治中国专家共识(2024 年版) [J]. 中华结核和呼吸杂志, 2024, 47(8): 716-729.
- [3] 李镭, 刘丹, 朱盈盈, 等. 肺磨玻璃结节临床研究进展[J]. 中国肺癌杂志, 2016, 19(2): 102-107.
- [4] 刘宝东. 肺磨玻璃结节的诊治策略[J]. 中国肺癌杂志, 2019, 22(7): 449-456.
- [5] 苏凯, 杨欣刚, 张东良, 等. 单孔胸腔镜手术对肺结节患者围手术期指标、肺功能的影响[J]. 武警医学, 2026, 37(5): 417-421.
- [6] Liang, Y., Song, B., Wang, B., Wang, D., Li, C., Kang, W., et al. (2025) Synchronous Percutaneous Microwave Ablation Combined with Percutaneous Biopsy for Highly Suspected Malignant Pulmonary Nodules: A Retrospective Study. *Journal of Thoracic Disease*, 17, 4768-4781. <https://doi.org/10.21037/jtd-2025-105>
- [7] 段雪琴, 郭欢, 张培先. 热消融联合经皮肺穿刺活检术在肺结节诊治中应用的研究进展[J]. 微创医学, 2024, 19(4): 429-433.
- [8] 张志超, 陈东基. 立体定向放疗与调强放疗治疗不适宜手术的 I 期非小细胞肺癌的临床效果比较[J]. 中外医学研究, 2025, 23(7): 108-111.
- [9] 王东东, 李晓光, 李彬, 等. 经同轴套管穿刺活检同步微波消融治疗高度可疑恶性肺结节[J]. 介入放射学杂志, 2018, 27(11): 1040-1044.
- [10] Aufranc, V., Farouil, G., Abdel-Rehim, M., Smadja, P., Tardieu, M., Aptel, S., et al. (2019) Percutaneous Thermal Ablation of Primary and Secondary Lung Tumors: Comparison between Microwave and Radiofrequency Ablation. *Diagnostic and Interventional Imaging*, 100, 781-791. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2019.07.008>
- [11] 刘明洋, 邢家诚, 郭焕男, 等. 微波消融联合穿刺活检对 GGO 型肺癌患者穿刺成功率及治疗效果的影响[J]. 延边大学医学学报, 2026, 49(3): 92-95.

- [12] 辛少伟, 杨阳, 高峰, 等. 38 例肺癌的 CT 引导下微波消融安全性及初步疗效临床总结[J]. 现代生物医学进展, 2024, 24(23): 4444-4448.
- [13] 李国霖. CT 引导下微波消融治疗肺磨玻璃结节的临床疗效及安全性分析[J]. 现代医用影像学, 2025, 34(12): 2230-2232+2237.
- [14] Shan, Y.Q., Wang, H.Y., He, X.N., Jiang, S.S., Wang, H.H. and Lin, F.X. (2022) Feasibility Analysis of CT-Guided Thermal Ablation of Multiple Pulmonary Nodules Combined with Intraoperative Biopsy. *Frontiers in Radiology*, 2, Article ID: 1036026. <https://doi.org/10.3389/fradi.2022.1036026>
- [15] Abtin, F., De Baere, T., Dupuy, D.E., Genshaft, S., Healey, T., Khan, S., et al. (2019) Updates on Current Role and Practice of Lung Ablation. *Journal of Thoracic Imaging*, 34, 266-277. <https://doi.org/10.1097/rti.0000000000000417>
- [16] 张阳, 马保科, 范敏, 等. CT 引导下同步穿刺活检联合射频消融术治疗肺结节效果及安全性分析[J]. 临床误诊误治, 2025, 38(6): 38-42.
- [17] 魏颖恬, 肖越勇, 张啸波, 等. CT 引导下射频消融肺结节联合术中穿刺活检的临床应用及预防出血措施[J]. 中国介入影像与治疗学, 2021, 18(1): 8-12.
- [18] 谭晓刚, 刘宝东. 射频消融治疗肺磨玻璃结节的临床价值[J]. 中国肺癌杂志, 2021, 24(10): 677-682.
- [19] Yang, R., Gu, C., Xie, F., Hong, S., Herth, F.J.F. and Sun, J. (2024) Potential of Thermal Ablation Combined with Immunotherapy in Peripheral Lung Tumors: A Review and Prospect. *Respiration*, 103, 295-316. <https://doi.org/10.1159/000538383>
- [20] 肖越勇, 魏颖恬. 安全有效开展肺小结节经皮穿刺活检和消融治疗[J]. 中国介入影像与治疗学, 2021, 18(1): 2-3.
- [21] 沈旭, 朱云柯, 沈诚. 冷热消融技术应用于肺结节治疗的现状与进展[J/OL]. 中国胸心血管外科临床杂志: 1-12. <https://link.cnki.net/urlid/51.1492.R.20260603.1303.004>, 2026-06-28.
- [22] Li, H., Long, Y., Yan, G., Bhetuwal, A., Zhuo, L., Yao, H., et al. (2022) Microwave Ablation vs. Cryoablation for Treatment of Primary and Metastatic Pulmonary Malignant Tumors. *Molecular and Clinical Oncology*, 16, Article No. 62. <https://doi.org/10.3892/mco.2022.2495>
- [23] Fintelmann, F.J., Braun, P., Mirzan, S.H., Huang, A.J., Best, T.D., Keyes, C.M., et al. (2020) Percutaneous Cryoablation: Safety and Efficacy for Pain Palliation of Metastases to Pleura and Chest Wall. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, 31, 294-300. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2019.09.013>
- [24] Chen, Z., Meng, L., Zhang, J. and Zhang, X. (2023) Progress in the Cryoablation and Cryoimmunotherapy for Tumor. *Frontiers in Immunology*, 14, Article ID: 1094009. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1094009>
- [25] Medlej, Z.a.A., Medlej, W., Slaba, S., Torrecillas, P., Cueto, A., Urbaneja, A., et al. (2023) Cryoablation and Immunotherapy: An Enthralling Synergy for Cancer Treatment. *Current Oncology*, 30, 4844-4860. <https://doi.org/10.3390/curroncol30050365>
- [26] Xu, Z., Wang, X., Ke, H. and Lyu, G. (2023) Cryoablation Is Superior to Radiofrequency Ablation for the Treatment of Non-Small Cell Lung Cancer: A Meta-Analysis. *Cryobiology*, 112, Article 104560. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2023.104560>
- [27] 张洲博, 王鹏, 李天, 等. 微波消融与冷冻消融治疗肺肿瘤的疗效和安全性分析[J]. 肿瘤学杂志, 2025, 31(4): 299-304.
- [28] 刘发明. CT 引导下经皮肺结节穿刺活检同步射频消融技术评价[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2023.
- [29] 钱玲, 孟志强. 冷冻消融治疗肿瘤现状和展望[J]. 介入放射学杂志, 2026, 35(3): 243-248.
- [30] Mankidy, B.J., Mohammad, G., Trinh, K., Ayyappan, A.P., Huang, Q., Bujarski, S., et al. (2023) High Risk Lung Nodule: A Multidisciplinary Approach to Diagnosis and Management. *Respiratory Medicine*, 214, Article 107277. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2023.107277>
- [31] 奚小祥, 吕必宏, 何光明, 等. 孤立性肺结节早期诊治的临床策略[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2014, 21(6): 793-798.
- [32] 曹荣岭, 马龙, 赵瑞彬. 肺结节全胸腔镜下解剖性肺段切除术与肺叶切除术的近期效果和安全性对比研究[J]. 河南外科学杂志, 2026, 32(3): 39-41.
- [33] 刘浩, 张浩业, 诸葛雪朋, 等. 早期非小细胞肺癌微创肺段切除术的手术效果与生活质量评估[J]. 山西医药杂志, 2026, 55(9): 676-679.
- [34] 谢睿灏, 黄嘉文, 魏才强, 等. 胸腔镜下亚肺叶切除术治疗I期周围型非小细胞肺癌近期疗效的应用研究[J]. 黑龙江医药, 2026, 39(3): 525-528.
- [35] 王勇. 不同胸腔镜手术切除方式在肺部结节患者治疗中的临床效果分析[J]. 中国典型病例大全, 2026, 20(2): 278-284.

- [36] 鲁瑞珍, 陈鹏, 张晓艳, 等. 基于围术期指标变化及术后并发症比较胸腔镜肺叶切除术与亚肺叶切除术治疗肺部亚厘米 NSCLC 的效果[J]. 实用医学杂志, 2026, 42(12): 2112-2118.
- [37] El Alam, R., Byrne, S.C. and Hammer, M.M. (2023) Rate of Benign Nodule Resection in a Lung Cancer Screening Program. *Clinical Imaging*, **104**, Article 109984. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2023.109984>
- [38] Kong, Y., Xu, H., Huang, Y., Lv, X. and Ye, X. (2022) Recent Advances in Nonsurgical Treatment of Pulmonary Ground-Glass Nodules. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, **18**, 323-328. https://doi.org/10.4103/jcrt.jcrt_2030_21
- [39] Simone, C.B., Wildt, B., Haas, A.R., Pope, G., Rengan, R. and Hahn, S.M. (2013) Stereotactic Body Radiation Therapy for Lung Cancer. *Chest*, **143**, 1784-1790. <https://doi.org/10.1378/chest.12-2580>
- [40] Onishi, H., Shioyama, Y., Matsumoto, Y., Shibamoto, Y., Miyakawa, A., Suzuki, G., *et al.* (2020) Stereotactic Body Radiotherapy in Patients with Lung Tumors Composed of Mainly Ground-Glass Opacity. *Journal of Radiation Research*, **61**, 426-430. <https://doi.org/10.1093/jrr/rraa015>
- [41] Hamamoto, Y., Makita, K., Kanzaki, H., Nagasaki, K., Suehisa, H., Shigematsu, H., *et al.* (2026) Treatment Outcomes of Stereotactic Body Radiotherapy for Ground Glass Opacity Nodules and Solid Lung Cancer. *Asia-Pacific Journal of Clinical Oncology*, **22**, 207-214. <https://doi.org/10.1111/ajco.14194>
- [42] Ager, B.J., Wells, S.M., Gruhl, J.D., Stoddard, G.J., Tao, R., Kokeny, K.E., *et al.* (2019) Stereotactic Body Radiotherapy versus Percutaneous Local Tumor Ablation for Early-Stage Non-Small Cell Lung Cancer. *Lung Cancer*, **138**, 6-12. <https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2019.09.009>
- [43] 杜华薇, 周严, 钟华. 立体定向放疗与射频消融治疗多原发非小细胞肺癌的临床对比研究[J]. 中华转移性肿瘤杂志, 2024, 7(1): 79-83.
- [44] Wang, J., Zuo, Z., Zhang, H., *et al.* (2016) Comparison of Clinical Outcomes of VATS and SBRT in the Treatment of NSCLC. *Chinese Journal of Lung Cancer*, **19**, 136-146.
- [45] Berman, A.T., Jabbour, S.K., Vachani, A., Robinson, C., Choi, J.I., Mohindra, P., *et al.* (2019) Empiric Radiotherapy for Lung Cancer Collaborative Group Multi-Institutional Evidence-Based Guidelines for the Use of Empiric Stereotactic Body Radiation Therapy for Non-Small Cell Lung Cancer without Pathologic Confirmation. *Translational Lung Cancer Research*, **8**, 5-14. <https://doi.org/10.21037/tlcr.2018.12.12>