

·非血管介入 Non-vascular intervention·

经皮射频消融与微波消融治疗肺癌有效性及安全性的
Meta 分析

洪子强, 白向豆, 崔百强, 成涛, 吴旭升, 金大成, 苟云久

【摘要】 目的 评价经皮射频消融(radiofrequency ablation, RFA)与微波消融(microwave ablation, MWA)治疗肺癌的有效性及安全性。方法 计算机检索 PubMed、Embase、The Cochrane Library、Web of Science、万方数据库、维普数据库和中国知网(CNKI)数据库, 搜索建库至 2022 年 2 月公开发表的比较 RFA 与 MWA 治疗肺癌有效性及安全性的相关文献, 采用 Review Manager 5.4 软件对文献进行 Meta 分析。结果 共纳入 10 篇文献。801 例患者中, RFA 组 379 例, MWA 组 422 例。RFA 组与 MWA 组在总并发症($OR=1.40, 95\%CI:0.77\sim2.55, P=0.27$)、完全消融率($OR=0.85, 95\%CI:0.39\sim1.83, P=0.67$)、复发率($OR=1.74, 95\%CI:0.74\sim4.07, P=0.21$)、3 年 OS 的亚组分析($OR=0.71, 95\%CI:0.42\sim1.18, P=0.18$)和总 OS($OR=0.90, 95\%CI:0.70\sim1.16, P=0.41$)方面差异无统计学意义; RFA 组皮下气肿发生率低于 MWA 组($OR=0.20, 95\%CI:0.08\sim0.53, P=0.001$); 而 MWA 组无进展生存期(PFS)长于 RFA 组($OR=1.74, 95\%CI:1.17\sim2.60, P=0.006$)。结论 RFA 与 MWA 治疗肺癌的有效性及安全性相近, RFA 治疗的皮下气肿发生率更低, 但 MWA 治疗的 PFS 更长。

【关键词】 射频消融; 微波消融; 肺癌; 肺转移; 系统评价; Meta 分析

中图分类号: R734.2 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2023)-04-0341-09

The effectiveness and safety of percutaneous radiofrequency ablation versus microwave ablation in the treatment of lung cancer: a meta analysis HONG Ziqiang, BAI Xiangdou, CUI Baiqiang, CHENG Tao, WU Xusheng, JIN Dacheng, GOU Yunjiu. First School of Clinical Medicine, Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou, Gansu Province 730000, China

Corresponding author: GOU Yunjiu, E-mail: gouyunjiu@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the effectiveness and safety of percutaneous radiofrequency ablation (RFA) and microwave ablation (MWA) in the treatment of lung cancer. **Methods** A computerized retrieval of academic papers concerning the comparison of the effectiveness and safety between RFA and MWA for lung cancer from the databases of PubMed, Embase, Cochrane Library, Web of Science, Wanfang Database and VIP was conducted. The retrieval time period was from the establishment of the database to February 2022. Review Manager 5.4 software was used to make meta-analysis. **Results** A total of 10 articles including 801 patients were included in this analysis. RFA group had 379 patients and MWA group had 422 patients. Meta-analysis showed that no statistically significant differences in the total complications($OR=1.40, 95\%CI=0.77\sim2.55, P=0.27$), complete ablation rate($OR=0.85, 95\%CI=0.39\sim1.83, P=0.67$), and recurrence rate($OR=1.74, 95\%CI=0.74\sim4.07, P=0.21$), subgroup 3-year OS($OR=0.71, 95\%CI=0.42\sim1.18, P=0.18$), and total OS($OR=0.90, 95\%CI=0.70\sim1.16, P=0.41$) existed between RFA group and MWA group. The incidence of subcutaneous emphysema in RFA group was lower than that in MWA group($OR=0.20, 95\%CI=0.08\sim0.53, P=0.001$); and the progression-free survival(PFS) in MWA group was longer than that in RFA group($OR=1.74, 95\%CI=1.17\sim2.60, P=0.006$). **Conclusion** For the treatment of lung cancer, RFA and MWA have similar clinical efficacy and

DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2023.04.007

基金项目: 甘肃省人民医院国家自然科学基金基金项目(19SYPYB-28); 甘肃省自然科学基金(20JR10RA388); 甘肃省卫生健康行业科研管理项目(GSWSKY2020-50)

作者单位: 730000 甘肃兰州 甘肃中医药大学第一临床医学院(洪子强、白向豆、崔百强、成涛、吴旭升); 甘肃省人民医院胸外科(金大成、苟云久)

通信作者: 苟云久 E-mail: gouyunjiu@163.com

safety. RFA treatment carries much lower incidence of subcutaneous emphysema, while MWA treatment can obtain a longer PFS. (J Intervent Radiol, 2023, 32: 341-349)

[Key words] radiofrequency ablation; microwave ablation; pulmonary cancer; pulmonary metastasis; systematic evaluation; meta-analysis

肺癌是全球癌症相关死亡的主要原因^[1]。肺部恶性肿瘤常见的转移部位,30%~40%的肿瘤患者出现肺转移^[2]。目前,早期肺癌的标准治疗方法是手术切除,但是手术切除的局限性较大,适合手术的患者不超过三分之一^[3]。一篇 Meta 分析对比了手术和热消融治疗 I 期非小细胞肺癌(non-small cell lung cancer, NSCLC)的疗效,结果表明手术和热消融治疗在 1~5 年的总生存率(overall survival, OS)和肿瘤特异性生存率方面没有差异,且行热消融治疗的患者可以保留更多的肺功能^[4]。故图像引导的热消融技术如射频消融(radiofrequency ablation, RFA)和微波消融(microwave ablation, MWA)已成为不适合手术治疗患者的重要选择^[5]。

研究表明, RFA 和 MWA 对原发性肺癌或无法切除的肺转移癌是安全可行的,且患者病死率低、住院时间短、生活质量较高^[6-7]。目前, MWA 的疗效及安全性是否优于 RFA 仍存在争议。本 Meta 分析比较 RFA 与 MWA 治疗肺癌的有效性及其安全性。

1 资料与方法

1.1 文献纳入和排除标准

纳入标准: ①研究类型为无伦理问题的前瞻性、回顾性和随机对照研究; ②研究对象为肺癌; ③干预措施为 RFA 与 MWA, 并对两种消融方式进行详细描述; ④结局指标含并发症、完全消融率、12 个月无进展生存期(PFS)、复发率、总生存期(OS)。排除标准: ①病例报告、会议报告和系统性评价或 Meta 分析; ②动物模型; ③不能提取有用数据或不能获取全文。

1.2 文献检索方法

采用主题词加自由词相结合的检索方式, 计算机检索 PubMed、Embase、The Cochrane Library、Web of Science、万方数据库、维普数据库、中国知网数据库(CNKI), 搜索建库至 2022 年 2 月公开发表的比较 RFA 与 MWA 治疗肺癌疗效及安全性的相关文献。英文检索词: radiofrequency ablation, microwave ablation, pulmonary cancer, lung cancer, pulmonary metastases。中文检索词: 射频消融、微波消融、肺癌、肺肿瘤、肺转移。

1.3 文献的筛查与资料提取

由两位胸外科医生独立筛选文献、提取数据后进行交叉核对, 如果出现分歧, 则由第三位胸外科医生决定或通过集体讨论来解决。每项研究提取的数据如下: ①第一作者姓名、发表年份、文章类型、患者数量、研究设计(前瞻性或回顾性研究); ②相关结局指标: 并发症、完全消融率、12 个月的 PFS、复发率、OS。

1.4 纳入研究的质量评价

采用纽卡斯尔-渥太华量表(The Newcastle-Ottawa Scale, NOS) 对纳入的队列研究进行质量评价, NOS 量表由 8 个条目组成, 总分 9 分^[8]。

1.5 统计学分析

使用 Cochrane 协作网提供的 Review Manager (5.4 版本) 软件对数据进行分析。效应指标如下: 二分类资料采用比值比(odds ratio, OR), 连续性变量采用均数差(mean difference, MD)表示。各效应量均以 95% 可信区间(confidence interval, CI)表示, 计算各研究效应指标的 OR 和 95%CI, 合并效应大小前应进行异质性检验。纳入研究结果之间的异质性采用 Review Manager(5.4 版本)软件默认的 Q 检验方法计算 χ^2 、 I^2 。若 $I^2 < 50\%$, $P > 0.1$, 则认为各研究之间异质性不显著, 采用固定效应模型分析数据; 若 $I^2 > 50\%$, $P \leq 0.1$, 则认为各研究之间异质性显著, 采用随机效应模型分析数据。发表偏倚采用漏斗图进行分析。

2 结果

2.1 文献检索结果

通过数据库检索, 共得到 360 篇文献, 经 Endnote X9 剔除重复文献后, 再经阅读文题和摘要初筛后排除不相关文献, 最终阅读全文后保留 10 篇文献^[9-18]。入选文献的基本信息见表 1。共计 801 例患者, RFA 组 379 例, MWA 组 422 例。文献筛选流程见图 1。

2.2 纳入文献的质量评价

纳入队列研究的 NOS 评分见表 2。

2.3 Meta 分析结果

总并发症分析的比较: 一共纳入了 7 项研

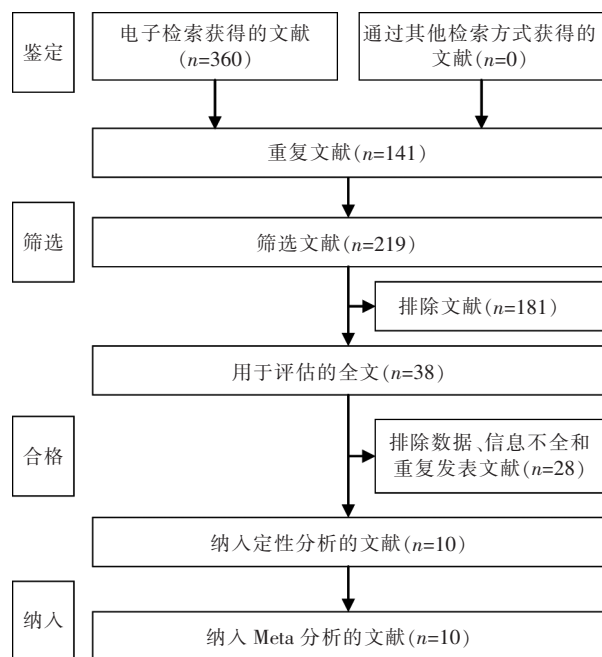


图 1 文献筛选流程

究^[9,11,13-15,17-18]。各研究之间具有统计学异质性($P<0.1$, $I^2=71\%$),故采用随机效应模型进行数据分析。结果($OR=1.40$, $95\%CI:0.77\sim2.55$, $P=0.27$)说明两种消融方法在总并发症方面差异无统计学意义,总并发症分析见图 2。

并发症亚组分析的比较:术后主要并发症的亚组分析结果表明,两种消融方法在气胸方面差异无统计学意义($OR=0.92$, $95\%CI:0.44\sim1.94$, $P=0.82$);在胸腔积液方面差异无统计学意义($OR=0.89$, $95\%CI:$

$0.56\sim1.41$, $P=0.63$);在皮下气肿方面差异有统计学意义($OR=0.20$, $95\%CI:0.08\sim0.53$, $P=0.001$),RFA 组皮下气肿发生率更低;在肺泡出血方面差异有统计学意义($OR=1.64$, $95\%CI:0.79\sim3.44$, $P=0.019$),MWA 组肺泡出血发生率更低。Meta 分析结果见图 3。

完全消融率的比较:一共纳入了 5 项研究^[9,11,13,16-17]。各研究之间具有统计学异质性($P<0.1$, $I^2=53\%$),故采用随机效应模型进行数据分析。结果($OR=0.85$, $95\%CI:0.39\sim1.83$, $P=0.67$)说明两种消融方法在总完全消融率方面差异无统计学意义,分析结果见图 4。

PFS 的比较:一共纳入了 3 项研究^[11,14,17]。各研究之间的统计学异质性不显著($P=0.14>0.1$, $I^2=50\%$),故采用固定效应模型进行数据分析。结果($OR=1.74$, $95\%CI:1.17\sim2.60$, $P=0.006$)说明两种消融方法在 PFS 方面差异有统计学意义,表明 MWA 组 PFS 更长,分析结果见图 5。

复发率的比较:一共纳入了 3 项研究^[11,14,18]。各研究之间具有统计学异质性($P<0.1$, $I^2=64\%$),故采用随机效应模型进行数据分析。结果($OR=1.74$, $95\%CI:0.74\sim4.07$, $P=0.21$)说明两种消融方法在复发率方面差异无统计学意义,分析结果见图 6。

OS 的比较:共有 5 项研究^[10,12-13,15,17]报告了 0.5 年 OS,采用固定效应模型进行数据分析发现,两种消融方法 0.5 年 OS 差异无统计学意义($OR=0.99$, $95\%CI:0.52\sim1.88$, $P=0.97$);共有 7 项研究^[10-12,14-17]报告

表 1 纳入研究的基本信息

纳入研究	起始时间	国家	分组	例数	男/女	年龄(岁)	肿瘤起源	肿瘤大小(cm)	分期	
									I~II	III~IV
Carrafiello2012 ^[9]	2003-2009 年	美国	RFA	29	NA	NA	肺/转移癌	2.8(1.5~5)	NA	NA
			MWA	16	NA	NA	肺/转移癌	3.8(2.8~4.7)		
Maxwell2016 ^[10]	2004-2016 年	美国	RFA	4	NA	NA	肺癌	2.35±0.82	6	3
			MWA	5	NA	NA	肺癌	2.38±1.40		
Vogl2016 ^[11]	2000-2014 年	德国	RFA	41	28/13	71±10	转移癌	NA	0	88
			MWA	47	29/18	64.6±11.5	转移癌			
Cheng2016 ^[12]	2008-2015 年	澳大利亚	RFA	2	NA	NA	肺癌	3.42±1.28	10	2
			MWA	10	NA	NA	肺癌			
李光晓 2017 ^[13]	2007-2014 年	中国	RFA	43	NA	58.4±16.2	肺/转移癌	3.0±1.75	14	45
			MWA	32	NA	58.2±12.4	肺/转移癌	3.5±2.03		
Nour-Eldin2017 ^[14]	2000-2014 年	德国	RFA	29	10/19	59.6±11.9	肺癌	NA	NA	NA
			MWA	63	23/40	57.1±12.8	肺癌			
Macchi2017 ^[15]	2006-2016 年	意大利	RFA	28	NA	NA	肺癌	NA	0	52
			MWA	24	NA	NA	肺癌			
Shi2017 ^[16]	2007-2014 年	中国	RFA	43	31/12	58.4(21~89)	肺/转移癌	3.00±1.7	53	22
			MWA	32	27/5	58.2(20~80)	肺/转移癌	3.46±2.0		
Chi2018 ^[17]	2012-2018 年	中国	RFA	99	76/23	61±12	肺/转移癌	2.87±1.76	78	160
			MWA	139	102/37	61±13	肺/转移癌	2.41±1.18		
Aufranc2019 ^[18]	2013-2018 年	法国	RFA	61	29/32	67.4±14	肺/转移癌	1.31±0.5	NA	NA
			MWA	54	27/27	68.1±11.7	肺/转移癌	1.71±0.8		

注:NA 为未获得相关数据

表 2 纳入队列研究 NOS 评分(分)

纳入研究	研究人群				组间可比性	结果测量			评分
	暴露组 代表性	非暴露组 选择方法	暴露因素 确定方法	结局指标		结果 评价	随访是 否够长	随访是 否充分	
Carrafiello2012 ^[9]	1	1	1	0	1	1	1	1	7
Maxwell2016 ^[10]	1	1	1	0	1	1	1	1	7
Vogl2016 ^[11]	1	1	1	0	1	1	1	1	7
Cheng2016 ^[12]	1	1	1	0	2	1	1	1	8
李光骅 2017 ^[13]	1	1	1	0	2	1	1	1	8
Nour-Eldin2017 ^[14]	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Macchi2017 ^[15]	1	1	1	0	1	1	1	1	7
Shi2017 ^[16]	1	1	1	0	1	1	1	1	7
Chi2018 ^[17]	1	1	1	0	2	1	1	1	8
Aufranc2019 ^[18]	1	1	1	0	1	1	1	1	7

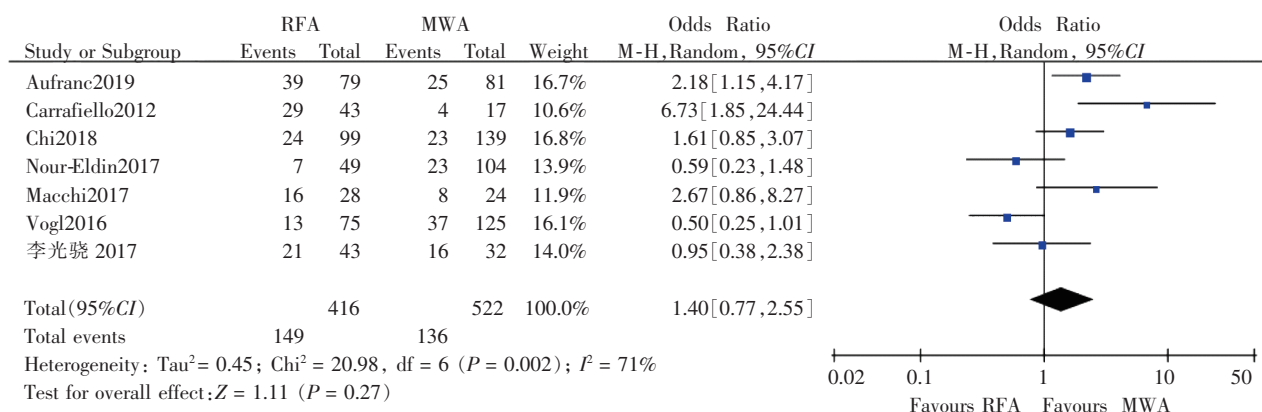


图 2 总并发症 Meta 分析森林图

了 1 年 OS,采用固定效应模型进行数据分析发现,两种消融方法 1 年 OS 差异无统计学意义($OR=0.94$, $95\%CI:0.60\sim1.48$, $P=0.79$);共有 6 项研究^[10-12,14,16-17]报告了 2 年 OS,采用随机效应模型进行数据分析发现,两种消融方法 2 年 OS 差异无统计学意义($OR=0.93$, $95\%CI:0.44\sim1.98$, $P=0.85$);共有 5 项研究^[10-12,14,16]报告了 3 年 OS,采用固定效应模型进行数据分析发现,两种消融方法 3 年 OS 差异无统计学意义($OR=0.71$, $95\%CI:0.42\sim1.18$, $P=0.18$);OS 的亚组分析结果见图 7。

基于肿瘤起源对 3 年 OS 进行亚组分析发现,肺原发癌和转移癌的 3 年 OS 差异均无统计学意义,见图 8。

2.4 敏感性分析

依次对所测指标进行逐一排除单个研究再进行合并分析,结果变化不明显,说明本研究结论可靠。

2.5 发表偏倚

以疗效性指标 OS 为例绘制了漏斗图,发现各项研究均匀分布在漏斗图的两侧,并且几乎所有研究都分布在漏斗图里面,说明本研究的发表偏倚较

小。见图 9。

3 讨论

据国家癌症中心和国际癌症研究机构报道,肺癌依旧是全球范围病死率最高的癌种^[19]。热消融是新兴的治疗肺癌手段,其中 RFA 和 MWA 这两种消融方式主要应用于以下情况:一是用于肿瘤最大径 ≤ 3 cm 且无转移的原发性肺癌及原发灶得到控制的肺转移癌的治愈性治疗;二是用于肿瘤最大径 > 3 cm 的原发性肺癌及经其他方法治疗后进展或复发肺癌的姑息性治疗^[20-21]。目前,RFA 与 MWA 治疗肺癌的有效性及安全性仍存在一定的争议。故本研究运用循证医学方法来评价 RFA 与 MWA 治疗肺癌有效性及安全性,以期临床实践提供循证医学证据。

结果表明,在总并发症方面 RFA 与 MWA 相当,差异无统计学意义。然而,在实际应用中,RFA 的安全性优于 MWA。因为与 RFA 相比,通过 MWA 实现的更大消融区域可能会导致更多围手术期并发症。本 Meta 分析结果与实际应用情况存在差异的

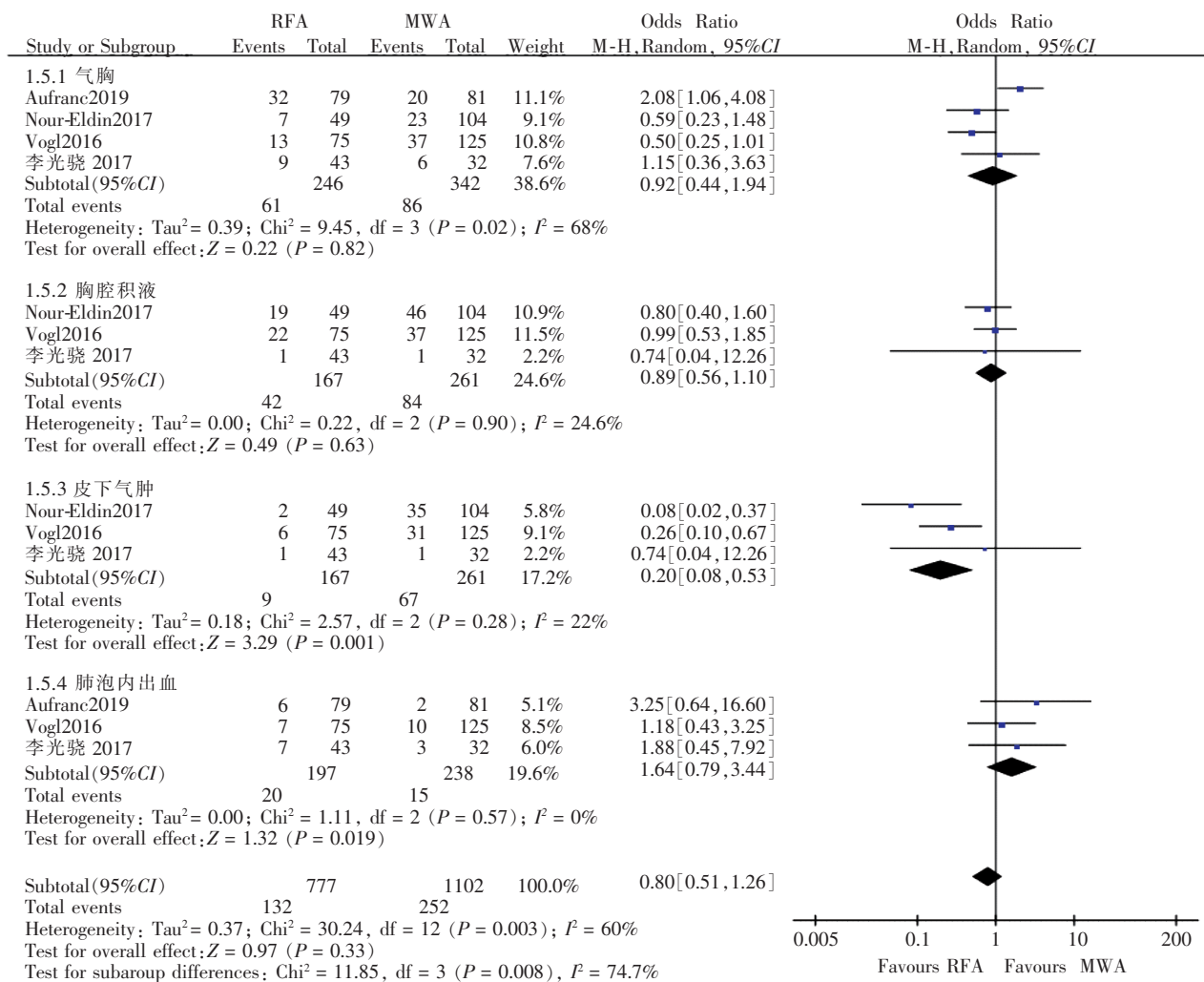


图3 并发症亚组 Meta 分析森林图

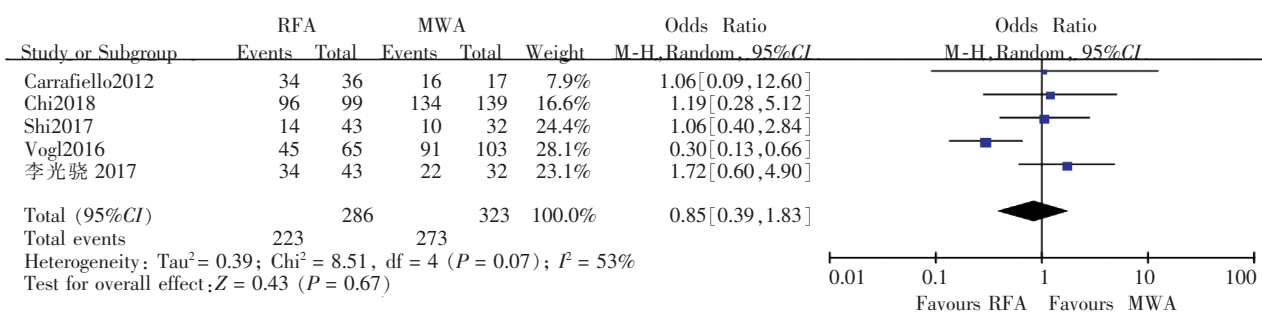


图4 完全消融率 Meta 分析森林图

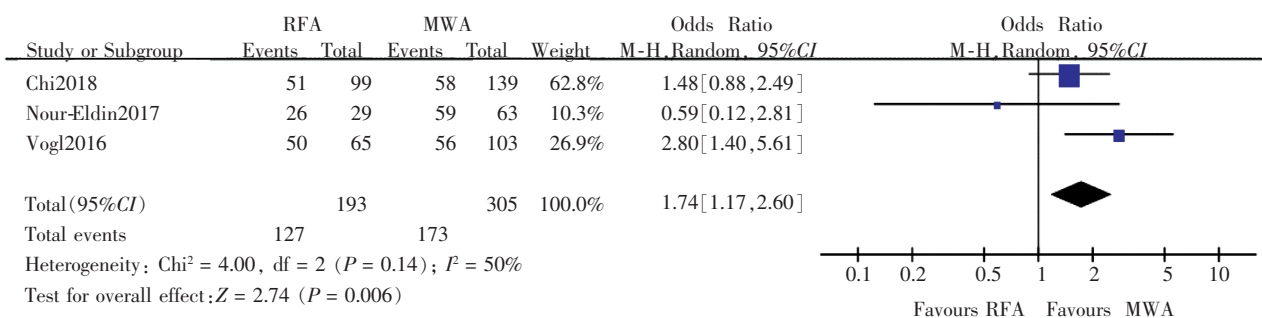


图5 PFS Meta 分析森林图

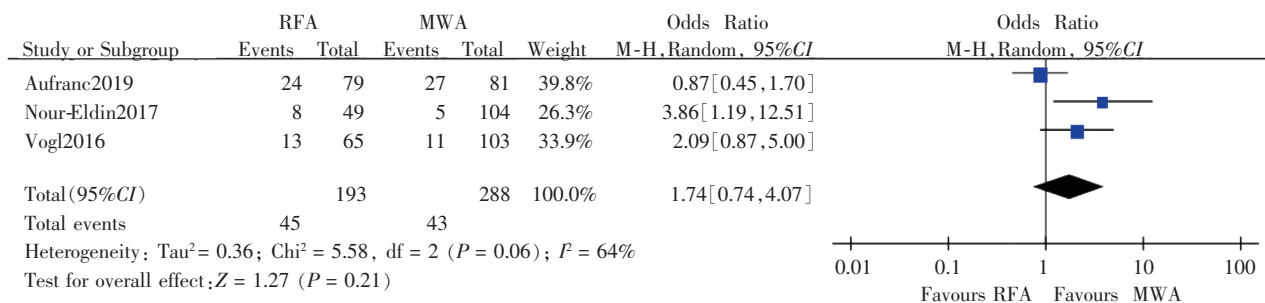


图 6 复发率 Meta 分析森林图

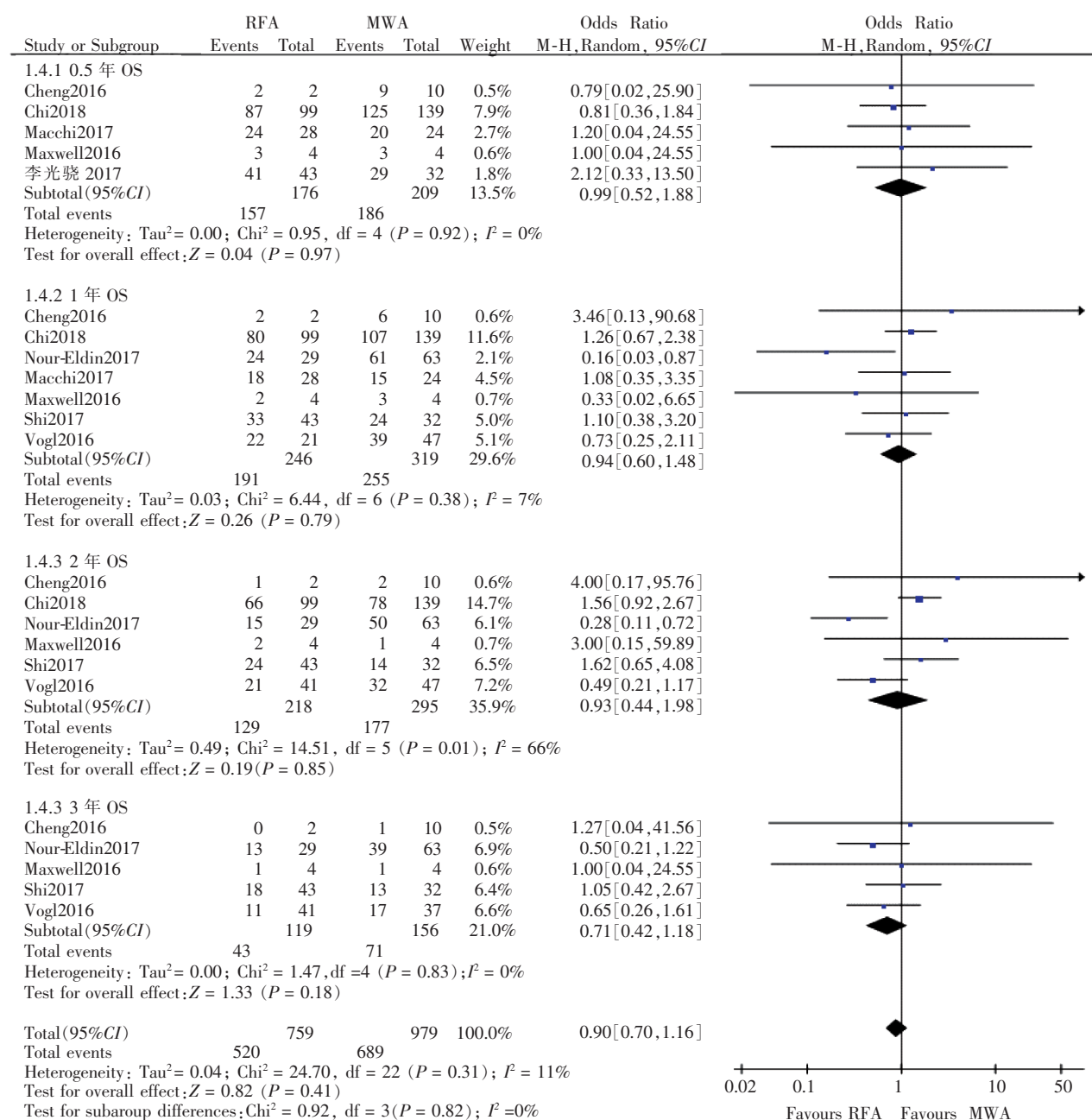


图 7 OS Meta 分析森林图

可能原因是不同医学中心的放射科医生对消融术操作的经验存在差异。对并发症进行亚组分析的结果

表明, 接受 RFA 治疗的患者更容易发生皮下气肿, 这可能与 RFA 组多发肿瘤患者数量较多有关。

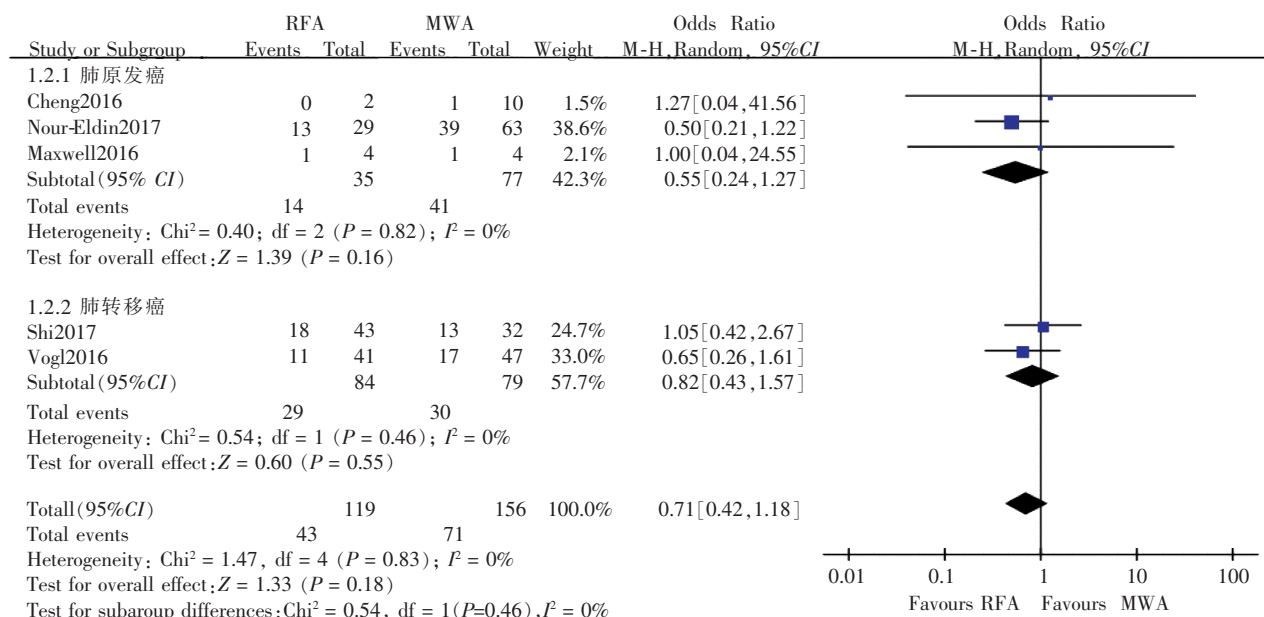


图 8 3 年 OS 亚组 Meta 分析森林图

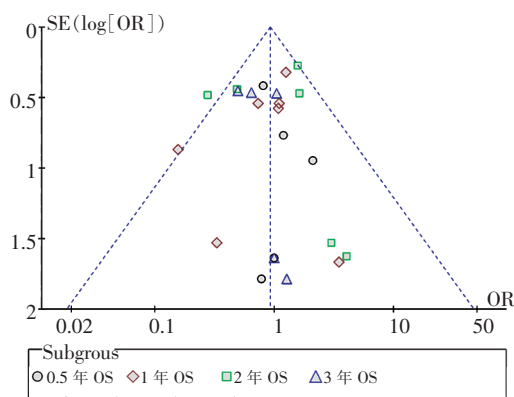


图 9 总生存率的漏斗图

在气胸发生情况方面, RFA 与 MWA 差异无统计学意义。气胸是热消融的常见术后并发症, 肿瘤数量、电极位置和电极穿过充气肺的轨迹与气胸的发生有关, 但只有一小部分患者需要放置胸腔闭式引流管。有研究者认为这种情况并不是并发症, 而是手术过程中预期的一部分, 类似于肺叶切除术后放置引流管。其他并发症可能是由邻近结构的热损伤引起, 如肺泡内出血、胸腔积液等^[22]。然而, 这些并发症通常较轻微并且可以自我愈合。在本研究中, RFA 和 MWA 都未见有特别严重的并发症, 表明这两种消融方法对肺癌的治疗都是安全的。MWA 作为一种新兴的消融方法, 与传统 RFA 相比, 具有操作时间短、消融范围大、价格低等优点^[23], 在肿瘤治疗方面有很大的发展潜力。一项 RFA 与其他消融技术在肝细胞癌治疗中的 Meta 分析显示, MWA 和冷冻消融的效果相同, 而 RFA 效果更佳, 但并发症发生率更高^[24]; 这与本研究在肺癌中的发现不同。

在完全消融率方面, RFA 与 MWA 效果相当, 差异无统计学意义。在大多数情况下, RFA 和 MWA 都可以实现肿瘤的完全消融。对于有残余肿瘤的患者, 进行第 2 次消融后可以实现完全消融。病灶强化方式和大小变化是判断病灶是否完全消融的重要征象^[25]。而 PET-CT 是目前判断消融后疗效最准确的手段之一, 有助于发现肿瘤残留、复发及远处转移。由于消融后的炎症反应, 3 个月内行 PET-CT 检查发现局部肿瘤残留假阳性率较高, 因此在这个阶段行 PET-CT 检查除能发现远处转移和新发病灶外, 对于判断是否有局部残留和进展也很有意义^[26]。

本 Meta 分析结果表明, 在 PFS 方面 MWA 优于 RFA。这与 Lu 等^[27]的研究结果一致, 同时其研究表明 PFS 与肿瘤大小显著相关。Simon 等^[28]关于 RFA 治疗 I 期 NSCLC 的研究验证了这一点, 肿瘤直径 ≤ 3 cm 的 1 年、2 年、3 年、4 年和 5 年局部肿瘤无进展率分别为 83%、64%、57%、47% 和 47%, 而 > 3 cm 的肿瘤为 45%、25%、25%、25% 和 25%。MWA 通常比 RFA 更适合用于较大的肿瘤, 因为其能够实现更大的消融区域。两种消融方式的复发率差异无统计学意义。本研究发现, 肿瘤大小与复发率密切相关, 肿瘤在 2~3 cm 以上时复发率较高。此外, 消融治疗对中心病变的控制程度低于周围病变, 这可能是因为肺门附近肺循环的电流汇效应。

对 OS 进行亚组分析, 发现 RFA 与 MWA 术后 0.5 年、1 年、2 年和 3 年的 OS 差异均无统计学意义,

表明 RFA 与 MWA 的远期疗效相当。Hiraki 等^[29]的研究发现, I 期 NSCLC 行 RFA 后 1 年、2 年、3 年和 5 年的 OS 分别为 78%~100%、53%~86%、8%~36%和 25%~61%, 中位生存时间为 29~67 个月。相比之下, 未经治疗的 I/II 期肺癌的中位生存时间约为 14.2 个月^[30]。Yang 等^[31]对 47 例无法行手术治疗的 I 期 NSCLC 行 MWA 治疗后发现, 1 年、2 年、3 年和 5 年的 OS 分别为 89%、63%、43%和 16%, 中位生存期为 33.8 个月。上述研究表明 RFA 与 MWA 都可以使患者获得良好的远期疗效。

RFA 的优势在于临床使用经验丰富, 自 2000 年 Dupuy 等^[32]报道 RFA 治疗 3 例肺癌以来, 该技术用于肺癌的治疗已有 20 多年。而 MWA 是近年来治疗原发性和转移性肺癌的方法。与 RFA 相比, MWA 使用不同于 RFA 的机制产生热量, 并且不受热阻抗和电阻抗的影响; MWA 对热沉效应不太敏感, 因为微波产生的热量更大, 故主动加热区域更大而对热传导的依赖性更小^[33]。因此, MWA 可以应用于邻近大血管和气道的肿瘤^[33]。然而, MWA 形成的消融区形状为扁球形而非球形, 这一特征削弱了消融区大小和形状的可预测性。影响 MWA 术后局部进展的因素主要为肿瘤大小、形状、胸膜侵犯、肺气肿和最小消融边界^[34]。肿瘤大小是限制消融广泛应用较为重要的因素, 即便是 MWA, 病灶直径 > 3 cm, 技术成功率也会降低^[34]。因此, 对于直径较大或形状不规则的病灶, 需要多点、多针或高能量的消融, 但这也可能会伴随更多的并发症; 而对于边缘伴有毛刺的病灶, 其肿瘤细胞浸润范围可能超出影像学边界, 此时需要更大的消融范围, 以增加完全消融的可能性^[35]。

本 Meta 分析的局限性: ①纳入的文献都是回顾性临床研究, 选择偏倚是不可避免的, 需要更大样本的随机对照试验进行验证; ②纳入的部分研究样本量偏少, 可能会引起分析结果的偏倚; ③只纳入了中、英文文献, 可能存在其他语种的文献符合纳入标准, 但由于语种限制而没有纳入; ④研究包括原发性和转移性肺癌患者, 这可能会影响生存结果且部分研究的随访时间不足。

综上所述, RFA 和 MWA 都是治疗肺癌安全有效的方法, RFA 治疗的皮下气肿发生率更低, 而 MWA 治疗的肺泡内出血发生率更低且 PFS 更长。然而, 上述结论还需要进一步开展高质量的随机对照试验进行验证。

[参考文献]

- [1] Siegel RL, Miller KD, Fuchs HE, et al. Cancer statistics, 2021 [J]. *CA Cancer J Clin*, 2021, 71: 7-33.
- [2] Boyer MJ, Ricardi U, Ball D, et al. Ablative approaches for pulmonary metastases [J]. *Thorac Surg Clin*, 2016, 26: 19-34.
- [3] Alexander ES, Dupuy D. Lung cancer ablation: technologies and techniques [J]. *Semin Intervent Radiol*, 2013, 30: 141-150.
- [4] Chan MV, Huo YR, Cao C, et al. Survival outcomes for surgical resection versus CT-guided percutaneous ablation for stage I non-small cell lung cancer (NSCLC): a systematic review and meta-analysis [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31: 5421-5433.
- [5] 刘宝东. 非小细胞肺癌射频消融热点问题探讨 [J]. *介入放射学杂志*, 2018, 27: 1013-1017.
- [6] Iguchi T, Hiraki T, Ishii H, et al. Transosseous route for CT fluoroscopy-guided radiofrequency ablation of lung tumors [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2015, 26: 1694-1698.
- [7] 韩晓颖, 杨霞, 叶欣, 等. CT 导引微波消融治疗高龄老人早期周围型非小细胞肺癌 32 例 [J]. *介入放射学杂志*, 2018, 27: 1051-1055.
- [8] Stang A. Critical evaluation of the newcastle-ottawa scale for the assessment of the quality of nonrandomized studies in meta-analyses [J]. *Eur J Epidemiol*, 2010, 25: 603-605.
- [9] Carrafiello G, Mangini M, Fontana F, et al. Complications of microwave and radiofrequency lung ablation: personal experience and review of the literature [J]. *Radiol Med*, 2012, 117: 201-213.
- [10] Maxwell AW, Healey TT, Dupuy DE. Percutaneous thermal ablation for small-cell lung cancer: initial experience with ten tumors in nine patients [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2016, 27: 1815-1821.
- [11] Vogl TJ, Eckert R, Naguib NN, et al. Thermal ablation of colorectal lung metastases: retrospective comparison among laser-induced thermotherapy, radiofrequency ablation, and microwave ablation [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2016, 207: 1340-1349.
- [12] Cheng M, Fay M, Steinke K. Percutaneous CT-guided thermal ablation as salvage therapy for recurrent non-small cell lung cancer after external beam radiotherapy: a retrospective study [J]. *Int J Hyperthermia*, 2016, 32: 316-23.
- [13] 李光晓, 陈晓明. 射频消融与微波消融治疗肺肿瘤的对比研究 [J]. *临床放射学杂志*, 2017, 36: 724-727.
- [14] Nour-Eldin NA, Exner S, Al-Subhi M, et al. Ablation therapy of non-colorectal cancer lung metastases: retrospective analysis of tumour response post-laser-induced interstitial thermotherapy (LITT), radiofrequency ablation (RFA) and microwave ablation (MWA) [J]. *Int J Hyperthermia*, 2017, 33: 820-829.
- [15] Macchi M, Belfiore MP, Floridi C, et al. Radiofrequency versus microwave ablation for treatment of the lung tumours: LUMIRA (lung microwave radiofrequency) randomized trial [J]. *Med Oncol*, 2017, 34: 96.
- [16] Shi F, Li G, Zhou Z, et al. Microwave ablation versus radiofrequency ablation for the treatment of pulmonary tumors [J]. *Oncotarget*, 2017, 8: 109791-109798.

- [17] Chi J, Ding M, Shi Y, et al. Comparison study of computed tomography-guided radiofrequency and microwave ablation for pulmonary tumors: a retrospective, case-controlled observational study[J]. Thorac Cancer, 2018, 9: 1241-1248.
- [18] Aufranc V, Farouil G, Abdel-Rehim M, et al. Percutaneous thermal ablation of primary and secondary lung tumors: comparison between microwave and radiofrequency ablation[J]. Diagn Interv Imaging, 2019, 100: 781-791.
- [19] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71: 209-249.
- [20] 刘宝东, 叶欣, 范卫君, 等. 影像引导射频消融治疗肺部肿瘤专家共识(2018 年版)[J]. 中国肺癌杂志, 2018, 21: 76-88, 86.
- [21] Sidoff L, Dupuy DE. Clinical experiences with microwave thermal ablation of lung malignancies[J]. Int J Hyperthermia, 2017, 33: 25-33.
- [22] Liu B, Zhang Y, Su L, et al. Treatment options for pulmonary multifocal ground glass opacity type adenocarcinoma: surgery combine thermal ablation?[J]. J Interv Med, 2020, 3: 180-183.
- [23] 叶欣, 范卫君, 王徽, 等. 热消融治疗原发性和转移性肺部肿瘤专家共识(2017 年版)[J]. 中国肺癌杂志, 2017, 20: 433-445.
- [24] Luo W, Zhang Y, He G, et al. Effects of radiofrequency ablation versus other ablating techniques on hepatocellular carcinomas: a systematic review and meta-analysis[J]. World J Surg Oncol, 2017, 15: 126.
- [25] Jin GY, Lee JM, Lee YC, et al. Primary and secondary lung malignancies treated with percutaneous radiofrequency ablation: evaluation with follow-up helical CT[J]. AJR Am J Roentgenol, 2004, 183: 1013-1020.
- [26] Zaheer SN, Whitley JM, Thomas PA, et al. Would you bet on PET? Evaluation of the significance of positive PET scan results post-microwave ablation for non-small cell lung cancer[J]. J Med Imaging Radiat Oncol, 2015, 59: 702-712.
- [27] Lu Q, Cao W, Huang L, et al. CT-guided percutaneous microwave ablation of pulmonary malignancies: results in 69 cases[J]. World J Surg Oncol, 2012, 10: 80.
- [28] Simon CJ, Dupuy DE, Dipetrillo TA, et al. Pulmonary radiofrequency ablation: long-term safety and efficacy in 153 patients[J]. Radiology, 2007, 243: 268-275.
- [29] Hiraki T, Gobara H, Mimura H, et al. Percutaneous radiofrequency ablation of clinical stage I non-small cell lung cancer [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2011, 142: 24-30.
- [30] Palussiere J, Lagarde P, Aupérin A, et al. Percutaneous lung thermal ablation of non-surgical clinical N0 non-small cell lung cancer: results of eight years' experience in 87 patients from two centers [J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2015, 38: 160-166.
- [31] Yang X, Ye X, Zheng AM, et al. Percutaneous microwave ablation of stage I medically inoperable non-small cell lung cancer: clinical evaluation of 47 cases[J]. J Surg Oncol, 2014, 110: 758-763.
- [32] Dupuy DE, Zagoria RJ, Akerley W, et al. Percutaneous radiofrequency ablation of malignancies in the lung[J]. AJR Am J Roentgenol, 2000, 174: 57-59.
- [33] Brace CL, Laeseke PF, Sampson LA, et al. Microwave ablation with a single small-gauge triaxial antenna: in vivo porcine liver model[J]. Radiology, 2007, 242: 435-440.
- [34] Nelson DB, Tam AL, Mitchell KG, et al. Local recurrence after microwave ablation of lung malignancies: a systematic review[J]. Ann Thorac Surg, 2019, 107: 1876-1883.
- [35] Chen B, Li W, Liu Y, et al. The efficacy and complications of computed tomography guided microwave ablation in lung cancer [J]. Ann Palliat Med, 2020, 9: 2760-2765.

(收稿日期: 2022-04-07)

(本文编辑: 新宇)