

·综述 General review·

肺恶性肿瘤射频消融进展及规范化探讨

李家开, 张金山

【摘要】 射频消融(RFA)是利用热能导致肿瘤组织凝固坏死。经皮途径 RFA 治疗肝脏恶性肿瘤的成功,促进了射频消融在肺等其他软组织肿瘤的应用。近年来,许多研究证实了 RFA 是原发性肺癌和有限的肺转移瘤的安全有价值的治疗技术,临床应用也逐渐增多。理论上,RFA 更适合于肺肿瘤的治疗,因为肿瘤周围正常肺实质内的气体能起到一种所谓的绝缘效应,提高能量在肿瘤内的沉积。然而,和其他器官相比,肺消融存在很多不同。本文对肺肿瘤 RFA 的一些关键问题,包括适应证、围手术期准备、技术要求、并发症防治、影像学随访,以及疗效评价等进行讨论。目前,不能手术治疗的早期肺癌和有限的周围肺组织的转移瘤是 RFA 的最佳适应证。肺组织的特异性要求使用不同的能量。电极针的准确释放和消融过程的细心操作是提高疗效和避免非靶点重要结构损伤的关键。PET/CT 是最准确的术后影像学随访方法,但是术后早期判断肿瘤局部进展仍需进一步验证。对于 I 期非小细胞肺癌和有限的肺转移瘤,RFA 术后生存率比较满意。

【关键词】 肺肿瘤; 射频消融; 规范化

中图分类号:R734.2 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2014)-02-0175-06

The research progress and standardization of radiofrequency ablation for lung malignant tumors LI

Jia-kai, ZHANG Jin-shan. Department of Radiology, General Hospital of PLA, Beijing 100853, China

Corresponding author: LI Jia-kai

【Abstract】 Radiofrequency ablation (RFA) makes use of thermal energy with a catheter delivery system to cause coagulation necrosis of the tissue. Percutaneous RFA has been well employed for many years in clinical treatment of liver tumors. The great success of RFA in treating hepatic tumors encourages the clinical physicians to use RFA in treating other solid tumors such as lung cancer. For recent years many publications have confirmed that RFA is a safe and valuable treatment option for patients with primary lung cancer or limited pulmonary metastases. This newly-developed modality has been more and more employed for lung tumors in clinical practice. Theoretically, lung tumors are very suitable to RFA because lesion's surrounding air within the adjacent normal parenchyma has an insulation effect, thus facilitating energy concentration within the tumor tissue. However, ablation technique used for lung tumors is quite different in many ways when compared with the ablation technique used for the malignancies of other organs. This paper aims to discuss some critical considerations of RFA for lung malignancies, such as indications, perioperative preparations, technical requirements, prevention of complications, follow-up imaging examination, the evaluation of therapeutic efficacy, etc. Presently, RFA is most used for the patients with inoperable early-stage lung cancers or for the patients with small and favorably located pulmonary metastases. The specific features of lung tissue require different power energy. The precise placement of electronic needle and the careful manipulation during RFA procedure are the key points to ensure a satisfactory result and to avoid injury to non-targeted important structures. PET/CT seems to be the most accurate follow-up means, although its role in assessing the local changes of the tumor shortly after RFA needs to be further clarified. For stage I non-small-cell lung cancer and limited pulmonary metastases, RFA provides satisfactory survival rate. (J Intervent Radiol, 2014, 23: 175-180)

【Key words】 lung neoplasm; radiofrequency ablation; standardization

DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2014.02.022

作者单位: 100853 北京 解放军总医院放射科
通信作者: 李家开

肺癌发病率呈逐年上升趋势,致死率极高,是

全球发病率和死亡率最高的恶性肿瘤。肺也是全身恶性肿瘤的常见转移器官,转移性肺癌的治疗也是棘手的难题。2000 年首次报道热消融治疗肺癌,此后临床报道逐渐增多,目前,射频消融(RFA)已成为不可切除的早期肺癌和部分转移性肺肿瘤的有效替代手段。国内应用尽管也比较早,但从所报道的文献来看,在适应证、设备选择、操作技术、科学随访等方面随意性很大,尚不规范^[1-3]。理论上,相对其他部位实体性肿瘤而言,肺肿瘤更适合 RFA,因为病灶周围肺组织的气体能提供所谓绝缘效应(insulating effect),促进射频能量在肿瘤内沉积^[4]。然而,肺消融不同于其他器官,在适应证选择上如何与成熟的外科手术进行合理平衡选择,组织特异性要求不同的射频能量,并发症的防治以及评价疗效的手段都有其特殊性^[5]。因此,RFA 治疗肺恶性肿瘤在诸如适应证选择、技术要求、射频能量控制、并发症防治、以及疗效判断等方面仍需进一步研究和规范。

1 RFA 治疗原理与射频系统技术进展

1.1 RFA 原理

RFA 是通过在组织内释放一定频率(375 kHz ~ 500 kHz)的射频电流,导致组织粒子的振动与移动,摩擦产热,导致组织凝固性坏死。实验表明当细胞加热至 50℃ 以上时,细胞蛋白变性,脂质双层结构融化,DNA 和 RNA 破坏,从而发生不可逆的细胞死亡。热能局部沉积导致凝固性坏死的范围由多种因素决定,诸如射频类型和电极针的几何形状、应用的能量、热扩散的持续时间、组织的液体含量、血液灌注率、以及血管密度等。病理上,RFA 术后早期,病灶的外围可见间质出血带。与一般组织坏死不同,治疗灶显示为热固定(thermal fixation),组织结构与镜下细胞结构保持完好,细胞着色特点随着时间延长而变淡,但治疗的组织变得脆弱、支持组织崩解、并产生轻微的伤后愈合反应。

1.2 单极射频系统

该系统应用较早并广泛,使用时,将 1 支 RFA 电极放置于肿瘤部位,将一个中性电极(负极垫)放置于患者大腿,以形成电流回路。使用交流电的频率范围是 375 kHz ~ 480 kHz,应用的能量在植入目标组织中的单极电极与放于体表的电极(负极垫)之间分布。一般单次消融 5 cm 范围可彻底灭活直径 3.5 cm 的肿瘤。临床应用这种射频系统消融肝癌时,采用了很多方法试图增加消融灶的体积,概括

有:消融期间生理盐水注射(灌注电极)^[6],内冷却电极^[7],改变电极的排列方式(集束电极)和可膨胀多子针电极^[8-9],改变射频能量的沉积方式^[10],术中阻断肿瘤血供^[11],联合动脉灌注化疗,联合动脉栓塞,以及双极排列(bipolar-array)技术等^[12]。

单极 RFA 系统除了消融灶大小有限外,还有其他不足之处,可能造成消融区的不规则。还可发生继发的损伤,常见的是负极垫处皮肤灼伤^[13]。对于曾行过外科手术的患者,还可导致邻近电极的金属手术夹过热,进而发生相应结构的热损伤。对于装有心脏起搏器的患者,一般不适用单极 RFA^[14]。其他还有操作相对复杂,以及消融过程中,患者体温升高等^[15]。

1.3 双极/多极 RFA 系统

双极/多极 RFA 系统是近年发展起来的一种新型设备,双极电极针是在 1 支电极针的远端安装 2 个活性电极,2 个电极间有一绝缘体,在插入的组织内形成局部电流回路,所以不需要单极射频电极针的额外负极垫,热能在局部可以更有效的沉积。这种设备可同时多支双极射频电极针放置在肿瘤内或紧邻肿瘤,不需要负极垫,电流在不同的电极间依此间隙形成回路,从而在瘤体内或紧邻瘤体形成多种电极联合。应用时根据病灶大小,选择电极针的类型和数目,插入 1 支双极射频电极针时,是双极消融模式,同时插入 2 支以上的双极电极针时,就是多极消融模式。单极 RFA 热量从消融部位向多个方向传导,而双极 RFA,1 个电极被第 2 个电极热屏蔽,热动力效能导致更大范围的凝固。另外,双极 RFA 电极周围电场具有较低的不良反应。单极 RFA,电场在人体的分布决定于活性电极与中性电极间的阻抗变化,诸如起搏器电极或外科手术夹等金属物质,如果干扰了电回路,就可能被加热,可能导致起搏器失去功能。

2 适应证选择

病灶大小是影响肿瘤完全消融与否的主要因素,一般认为最大径 < 3.5 cm 的病灶,局部控制率好,相反,大的病灶局部复发率高,生存率明显低于小病灶^[16-19]。治疗目的决定着适应证的选择,以根治为目的:① 不能手术治疗的 I 期非小细胞肺癌(NSCLC),单个病灶最大径 ≤ 3.5 cm;② 有限的肺转移瘤,病灶数目少于 5 个,单个病灶最大径 < 3.5 cm,且病灶与心脏大血管等重要结构间距 1 cm 以上;③ 手术切除后复发或 RFA 术后复发,病灶大

小和数目同前。如以姑息治疗为目的,适用于各期原发肺癌和转移瘤,对大于 5 cm 的肿瘤可分次消融,也可以在部分消融减少肿瘤负荷的同时,联合其他手段综合治疗。一般来说,RFA 治疗肺恶性肿瘤无绝对禁忌证,但下列情况应视为相对禁忌证:高危患者、严重的心肺功能不全、凝血功能障碍,患者一般情况较差、病灶靠近纵隔和肺门大血管等。

3 围手术期准备

根据 RFA 治疗技术的特点,将术前 1 周至术后 1 周这段时间定义为围手术期。为了安全、有效地进行手术和术后顺利康复,围手术期应做好以下准备:① 与患者及家属充分沟通,向他们介绍 RFA 治疗的原理、作用、术前术后注意事项等;② 仔细分析患者影像资料,制订手术方案;③ 完善相关术前检查,签署必要的医疗文书;④ 射频发生仪及配套电极针准备。根据病灶大小形态,选择不同的电极针型号和数目,设定合理的方案。⑤ 出血和气胸是常见的术后并发症,术后应即刻 CT 扫描观察有无并发症,根据并发症情况进行适当处理。少量气胸也是常见的并发症,可观察变化,大量气胸需立即抽气,必要时置管。注意术后 1 周内观察有无迟发性气胸发生。

4 操作技术要求

建议 RFA 在 CT 引导下经皮穿刺途径,其优势为创伤小、定位准确、图像清晰。操作技术要求及相关注意事项如下。

4.1 心电监护

RFA 对患者的血压会有一定的影响,对肺功能会有不同程度的影响,如并发气胸和肺内出血等并发症,影响会更大,所以要求治疗全程在心电监护下进行,有助于实时观察患者的生命体征变化,及时处理突发情况。心电监护电极片的放置避开穿刺部位。术中持续低流量吸氧。保持静脉通道通畅。

4.2 麻醉

一般患者采用局麻,辅助使用镇痛镇静药物。消融结束后烧灼胸壁针道时可有比较剧烈的痛感,应告之患者,并进行必要的心理安抚。对于高度疼痛敏感、恐惧患者,可考虑全麻。

4.3 CT 扫描参数的设定

为减少辐射量,建议使用低剂量靶区扫描,50 mA 管电流可清晰判断病灶。扫描范围覆盖病灶即可。扫描层厚根据病灶大小灵活调整,对于直径

小于 10 mm 的病灶,建议使用 3 mm 层厚扫描,10 ~ 30 mm 的病灶,使用 5 mm 层厚,大于 30 mm 的病灶,使用 10 mm 层厚即可。小病灶的穿刺也可在 CT 透视下进行,或借助于计算机导航系统。为便于判断射频电极针与病灶的空间位置关系,可实时进行三维重建。

4.4 穿刺点的选择原则

概括为最近原则、安全原则、患者舒适原则、和方便操作原则。所谓最近原则是指皮肤穿刺定位点与肺内病灶间的距离尽可能短,使射频电极针通过正常肺组织的距离尽可能小,减轻对肺的损伤。安全原则是避免射频电极针损伤一些重要结构,尤其是心脏、大血管、食管、气管及其主要分支;避免跨肺叶穿刺,避开肺大泡等,保证治疗的安全性,减少和减轻并发症。患者舒适原则是指患者躺卧的姿势相对舒服,避免被动体位,使患者能保持长时间配合治疗。方便操作原则是指便于术者顺利施行手术,减少因操作不顺手而发生的过失。总之,在操作时,要综合统一兼顾上述原则,不能因强调其一而忽视其他。

4.5 射频电极针穿刺原则

为减少误穿刺损伤,如果是在 CT 扫描引导下盲穿,建议采用三步或逐步进针穿刺原则。① 胸膜外穿刺:局麻后,根据定位穿刺方案,测量穿刺深度后,先将电极针刺入胸壁但不穿透胸膜,然后 CT 靶区扫描或 CT 透视,判断电极针与肺内病灶的相对位置关系,调整电极针方向,使其对准病灶,然后进行下一步穿刺。② 达病灶前肺内穿刺:按照定位测量好的进针方向,将射频电极针插入肺内,大约在电极针达到穿刺点与病灶间一半左右的距离时停止进针,进行 CT 扫,观察电极针与病灶的空间关系,如果进针方向正确,可进一步将电极针插入病灶,如果电极针进针方向偏离病灶方向,采取针尾控制的方法,使电极针尖对着病灶的方向进针,进针深度仍小于测量的进针距离,再次 CT 扫描,判断电极针的位置,如果合适,再穿刺进入病灶,如果仍偏离,再同样调整,直到方向正确,此即所谓逐步进针。③ 病灶穿刺:电极针达病灶近侧时,停止进针,CT 扫描再一次确认电极针与病灶的关系,并测量在病灶内的进针深度,然后将电极针插入到理想的位置,影像观察准确后,方可进行 RFA。

4.6 电极针在病灶内的排列

不同类型电极针在病灶内的排列要求不一样,应根据说明书要求严格操作。对于多子针的单极射

频,应熟知子针的释放位置,推送子针时把握好推力,使其完全张开。对于双极/多电极射频系统多针消融时,不同电极针间应相互平行,针间应保持理想的距离,一般在 5 ~ 30 mm。如果是使用 3 支电极针,各电极针相互间应保持近似等边三角形排列,这样能保证消融效果最大化。

4.7 消融参数设定

消融参数由射频发生仪类型决定,单极 RFA 主要参数包括功率、温度和时间,消融到预定的时间后结束。双/多电极射频系统采用阻抗控制模式,根据功率和阻抗的相互关系,决定消融的能量和时间。为减少阻抗过早升高,最好选择较实质性脏器消融时稍低的功率,消融能量为参考值,消融结束与否由阻抗和功率波动的曲线和不同电极间能量分布情况判定。

4.8 其他注意事项

消融工程中灵活进行 CT 扫描监控,CT 扫描时不需停止消融,观察有无并发症发生并估计消融效果,结合使用的消融参数和图像表现,适时终止消融。结束消融后,应逐段消融针道后拔针,观察穿刺点无出血后,包扎穿刺点。最后 CT 扫描,观察无并发症后,送病房观察。术后患者平卧 6 h,建议穿刺点侧向下躺卧 2 h 后平卧,可借助自身重力压迫针道,防止迟发气胸发生。

4.9 重复消融

对于较大病灶,单次消融不能保证病灶完全灭活时,可酌情重复消融,重复消融能提高病灶的局部控制率^[20]。再次治疗应至少在无并发症发生 1 周后进行,也可以多次消融。

5 并发症防治

根据并发症发生的概率,可分为常见并发症和少见并发症,前者主要包括:气胸、胸腔积液、肺和(或)胸腔出血、胸壁血肿、神经损伤等,后者有:针道种植转移、继发感染或脓肿、继发性化脓性肺炎、急性呼吸窘迫综合征(ARDS)、肺梗死、支气管胸膜瘘、脓胸、空气栓塞等。

5.1 气胸

常见,报道发生率 12.5% ~ 75%。发生气胸的可能危险因素有电极针经过肺组织的长度、背景肺气肿情况、电极针经过胸膜次数等。按照前述穿刺点的选择及穿刺原则,可预防和减少气胸的发生。需要注意迟发性气胸的发生。气胸的处理原则应根据气胸量和患者症状而定。一般少量气胸,肺组织压

缩 < 10%,肺功能正常者,不需特殊处理。大量气胸,患者明显憋气,血氧饱和度降低,需立即处理,可先在 CT 定位下,用细针抽气,尽量将气体抽完,平卧观察,如气胸再次增加,可重复抽气 2 ~ 3 次,如气胸无法控制,行胸穿置管引流。

5.2 肺内出血、血胸和胸壁血肿

肺泡内少量出血常见,发生率 20% 左右,一般不需特殊处理。血胸和胸壁血肿少见,穿刺时避开大血管,特别是主动脉分支,可避免。不论是肺内出血,还是胸腔出血,都要及时观察,监测患者生命体征,如属于活动性出血,应进行及时针对性处理,可选择动脉栓塞,控制不好时,行外科手术。

5.3 反应性胸膜增厚、胸腔积液

胸膜反应性增厚,是常见的治疗后反应,可伴有少量胸腔积液,消融病灶位于下叶者常见此反应,一般不需特殊处理,1 周左右吸收消散。

5.4 针道种植转移

偶有报道^[21]。可能因操作不规范、技术不熟练所致。按照上述穿刺进针原则,特别是电极针进入病灶后,应尽量避免将电极针后退出病灶反复穿刺,消融结束后对穿刺针道进行逐段完全烧灼可避免针道种植转移发生。

5.5 其他并发症

支气管胸膜瘘:少见但严重。穿刺时注意较大支气管的误穿刺损伤,如发生可经支气管镜堵塞。肺部感染、脓肿和脓胸:注意无菌操作,术后适当抗菌药物应用。继发支气管阻塞性机化性肺炎也偶有报道^[22],原因不明,对症处理,可逐渐好转,一般不严重影响肺功能。肺梗死:可因肺动脉分支阻塞所致,RFA 一般不导致分动脉较大分支栓塞,所以不会造成较大范围的肺梗死。胸壁神经损伤:注意避免穿刺损伤。空气栓塞、急性呼吸窘迫综合征等罕见,但后果严重。

6 影像学随访和疗效评价

术后严格规范进行影像学检查、熟悉消融术后的影像表现特点有助于判断肿瘤是否消融彻底和(或)复发。CT 扫描是理想的检查方法,包括 CT 平扫和增强扫描。复查间隔可根据前次检查所见灵活掌握。一般 RFA 后应即刻行 CT 扫描,主要目的是判断有无胸部并发症,并分析肺肿瘤消融术后的即刻表现。术后 1 个月应进行胸部平扫和增强扫描,分析消融灶的影像表现特点,此时一般不能肯定肿瘤是否已经完全消融,但可作为后期随访检查的对

比基线。此后,根据情况 3~6 个月复查,半年后如病灶控制良好,复查时间可延长到 6~12 个月。肺肿瘤 RFA 术后肺 CT 表现多种多样,而且随时间动态变化,熟悉不同时间的影像表现特点,分析其动态演变,有助于准确判断疗效。消融灶的术后一般常见的征象有:① 病灶周围磨玻璃密度征(GGO),一般 1 个月内吸收;② 空洞,好发于邻近较大支气管;③ 气泡透亮征;④ 胸膜增厚、胸膜与消融灶间线条样实变^[23]。术后 1 个月 CT 表现:病灶周围磨玻璃密度征吸收。与术前比较病灶多增大,可有空洞,此时仅凭病灶大小不能判断肿瘤是否完全灭活,增强扫描如有明显的不均匀强化,可提示肿瘤残留或复发,否则不能肯定是否残留或复发。术后 3~6 个月和术后 1 个月 CT 比较,如病灶逐渐缩小,增强扫描无明显强化,可提示局部控制好。相反,如果病灶逐渐增大,形态不规则,并有明显的不均匀强化,则提示肿瘤复发。而如果病灶大小变化不明显,增强扫描强化不著,则不能判断肿瘤复发与否。术后 6 个月以后和术后系列 CT 表现比较,如病灶大小逐渐缩小,呈条带样纤维条索,增强扫描无强化或轻微均匀强化,可准确判断病灶消融彻底。如病灶不均匀增大或保持稳定,增强扫描不均匀强化,则符合术后复发。总之,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^[24],一般观察 6 个月以后,才能比较准确判断肿瘤完全灭活与否。为了尽早判断肺肿瘤 RFA 后复发,以及时进行补充治疗,除了 CT 扫描外,可辅助 PET 扫描,从 SUV 值的动态变化来判断肿瘤是否消融彻底。有研究认为 RFA 后 2 个月,消融灶如有残余摄取和与术前比较 SUV 值较少 < 60%,提示肿瘤复发,需要进一步治疗^[25-27]。与 CT 相比,PET 能较早发现术后是否复发。但报道较少,准确性还有待进一步研究证实。

肺肿瘤 RFA 的疗效受到多种因素影响,就局部控制率而言,肿瘤大小是影响肿瘤完全坏死和疗效的主要因素,≤ 3 cm 的病灶,不论是原发性肺癌,还是肺转移瘤,逐年肿瘤局部无进展生存率明显好于 > 3 cm 的肿瘤^[26]。一组病灶直径 < 3.5 cm 肺肿瘤 RFA 的多中心前瞻研究显示,至少 1 年肿瘤 CR 为 88%,原发癌与转移瘤间无差异。另外统计了 NSCLC、结肠直肠癌肺转移瘤、其他恶性肿瘤肺转移瘤的 1、2 年总生存率和肿瘤相关生存率,分别为 70%和 48%、89%和 66%、92%和 64%,而 1、2 年肿瘤相关生存率分别为 92%和 73%、91%和 68%、93%和 67%。I 期 NSCLC 2 年总生存率为 75%,肿瘤相

关生存率为 92%^[17]。RFA 可以作为不能手术切除的 I 和 II 期 NSCLC 的替代治疗手段,并可能成为部分肺转移瘤的标准治疗技术。

7 存在的问题和展望

尽管 RFA 用于肺肿瘤的治疗已有 10 余年的时间,但目前仍有不少问题需要进一步研究解决。首先,对于疗效仍有争议,尽管学术界普遍认为 RFA 是肺肿瘤的有效治疗手段,但也有部分学者通过对 RFA 术后切除标本的超活体染色(supravital staining)或免疫组化染色,发现 RFA 术后,肿瘤细胞的灭活率很低,从而质疑其临床应用^[28]。另外,临床上对射频系统和射频电极针的选用比较随意,受到器械的限制和术者经验的影响较大,对消融参数和能量的把握缺乏实验依据。还有,对射频在肺组织的传导和热能沉积缺乏深刻认识。肺组织与实质性脏器的组织特性不同,理论上肺泡壁的温室效应可提高热沉积效果,但肺组织的气体会在 RFA 中使阻抗很快升高,导致射频电极针表面炭化,阻碍热能的有效传导,从而影响消融效果。总之,虽然 RFA 用于肺恶性肿瘤的治疗逐渐普及,但仍存在不少亟待研究的课题,如何正确地选择适应症、规范不同射频系统的有效消融参数、如何根据肺组织的特异性,设法增大消融体积、术后正确的影像学随访、并发症的有效防治、以及与手术切除或其他局部治疗技术的随机对照研究等均有待于进一步研究和规范。

[参考文献]

- [1] 吴沛宏,赵明,范卫君,等.肺部实体肿瘤射频消融治疗的近期疗效观察[J].中华放射学杂志,2002,36:321-324.
- [2] 王忠敏,陈克敏,贡桔,等.CT引导下射频消融治疗肺部恶性肿瘤的临床应用[J].介入放射学杂志,2009,18:335-339.
- [3] 刘宝东,刘磊,李岩,等.射频消融治疗 100 例肺部肿瘤的远期疗效[J].中国肺癌杂志,2011,14:335-339.
- [4] Lencioni R, Crocetti L, Cioni R, et al. Radiofrequency ablation of lung malignancies: where do we stand? [J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2004, 27: 581-590.
- [5] Diederich S, Hosten N. Percutaneous ablation of pulmonary tumours: state-of-the-art 2004[J]. Radiologe, 2004, 44: 658-662.
- [6] Schmidt D, Trübenbach J, Brieger J, et al. Automated saline-enhanced radiofrequency thermal ablation: initial results in ex vivo bovine livers[J]. Am J Roentgenol, 2003, 180: 163-165.

- [7] Goldberg SN, Solbiati L, Hahn PF, et al. Large-volume tissue ablation with Radio frequency by using a clustered, internally cooled electrode technique: laboratory and clinical experience in liver metastases[J]. Radiology, 1998, 209: 371 - 379.
- [8] Goldberg SN, Gazelle GS, Dawson SL, et al. Tissue ablation with radiofrequency using multiprobe arrays [J]. Acad Radiol, 1995, 2: 670 - 674.
- [9] de Baere T, Denys A, Wood BJ, et al. Radiofrequency liver ablation: experimental comparative study of water-cooled versus expandable systems [J]. Am J Roentgenol, 2001, 176: 187 - 192.
- [10] Goldberg SN, Stein MC, Gazelle GS, et al. Percutaneous radiofrequency tissue ablation: optimization of pulsed - radiofrequency technique to increase coagulation necrosis [J]. J Vasc Interv Radiol, 1999, 10: 907 - 916.
- [11] Rossi S, Garbagnati F, Lencioni R, et al. Percutaneous radio-frequency thermal ablation of nonresectable hepatocellular carcinoma after occlusion of tumor blood supply [J]. Radiology, 2000, 217: 119 - 126.
- [12] Burdío F, Güemes A, Burdío JM, et al. Bipolar saline-enhanced electrode for radiofrequency ablation: results of experimental study of in vivo porcine liver [J]. Radiology, 2003, 229: 447 - 456.
- [13] Goette A, Reek S, Klein HU, et al. Case report: severe skin burn at the site of the indifferent electrode after radiofrequency catheter ablation of typical atrial flutter [J]. J Interv Card Electrophysiol, 2001, 5: 337 - 340.
- [14] Tong NY, Ru HJ, Ling HY, et al. Extracardiac radiofrequency ablation interferes with pacemaker function but does not damage the device[letter][J]. Anesthesiology 2004, 100: 1041.
- [15] Livraghi T, Solbiati L, Meloni MF, et al. Treatment of focal liver tumors with percutaneous radio - frequency ablation: complications encountered in a multicenter study[J]. Radiology, 2003, 226: 441 - 451.
- [16] Lanuti M, Sharma A, Willers H, et al. Radiofrequency ablation for stage I non - small cell lung Cancer: management of locoregional recurrence [J]. Ann Thorac Surg, 2012, 93: 921 - 927.
- [17] Lencioni R, Crocetti L, Cioni R, et al. Response to radiofrequency ablation of pulmonary tumours: a prospective, intention - to - treat, multicentre clinical trial (the RAPTURE study) [J]. Lancet Oncol, 2008, 9: 621 - 628.
- [18] Rose SC. Radiofrequency ablation of pulmonary malignancies[J]. Semin Respir Crit Care Med, 2008, 29: 361 - 383.
- [19] 程永德, 程英升, 颜志平. 常见恶性肿瘤介入治疗指南[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 112.
- [20] Hiraki T, Mimura H, Gobara H, et al. Repeat radiofrequency ablation for local progression of lung tumors: does it have a role in local tumor control? [J]. J Vasc Interv Radiol, 2008, 19: 706 - 711.
- [21] Yamakado K, Akeboshi M, Nakatsuka A, et al. Tumor seeding following lung radiofrequency ablation: a case report [J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2005, 28: 530 - 532.
- [22] Hiraki T, Gobara H, Kato K, et al. Bronchiolitis obliterans organizing pneumonia after radiofrequency ablation of lung Cancer: report of three cases [J]. J Vasc Interv Radiol, 2012, 23: 126 - 130.
- [23] Bojarski JD, Dupuy DE, Mayo - Smith WW. CT imaging findings of pulmonary neoplasms after treatment with radiofrequency ablation: results in 32 tumors[J]. AJR Am J Roentgenol, 2005, 185: 466 - 471.
- [24] 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]. Am J Roentgenol, 2004, 183: 1013 - 1020.
- [25] Okuma T, Okamura T, Matsuoka T, et al. Fluorine - 18 - fluorodeoxyglucose positron emission tomography for assessment of patients with unresectable recurrent or metastatic lung cancers after CT-guided radiofrequency ablation: preliminary results[J]. Ann Nucl Med, 2006, 20: 115 - 121.
- [26] 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.
- [27] 吴湖炳, 王全师, 黄祖汉, 等. 用 ¹⁸F-FDG PET 显像评价恶性肿瘤射频消融术疗效 [J]. 中华核医学杂志, 2003, 23: 153 - 155.
- [28] Schneider T, Reuss D, Warth A, et al. The efficacy of bipolar and multipolar radiofrequency ablation of lung neoplasms-results of an ablate and resect study [J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2011, 39: 968 - 973.

(收稿日期:2013-07-18)

(本文编辑:俞瑞纲)