

肺部肿瘤经皮射频消融治疗后罕见并发症及其危险因素研究进展

高杨¹, 陈骏², 武贝³

1. 南京医科大学附属肿瘤医院 江苏省肿瘤医院 江苏省肿瘤防治研究所放射科, 江苏 南京 210000;
2. 南京医科大学上海第十人民医院 同济大学附属第十人民医院介入与血管外科, 上海 200072;
3. 南京医科大学附属肿瘤医院 江苏省肿瘤医院 江苏省肿瘤防治研究所介入科, 江苏 南京 210000

摘要: 影像引导下的消融技术已经广泛应用于肿瘤的局部治疗,其中射频消融(RFA)在肺部肿瘤中的应用已得到广泛认可,对于其有效性、安全性包括并发症的报道已有很多,但是对于其罕见并发症仍缺乏系统总结。本文对肺部肿瘤 RFA 治疗后的罕见并发症及其相关危险因素的研究进展作一综述。

关键词: 肺部肿瘤; 射频消融; 罕见并发症; 危险因素

中图分类号: R 734.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-8182(2019)10-1430-05

射频消融(radiofrequency ablation, RFA)治疗是利用热的生物学效应,直接导致肿瘤细胞凝固性坏死或不可逆损伤。Dupuy 等^[1]在 2000 年第一次报道了利用 RFA 治疗肺部肿瘤。目前该项微创技术已经得到广泛认可,并应用于肝、肾、骨等其它脏器的肿瘤治疗^[2]。对 RFA 治疗肺部恶性肿瘤相关常见并发症的报道已有很多^[3],但国内尚未见针对罕见并发症的综述,本文将这些罕见并发症分为四大类:(1)肺及胸膜相关并发症;(2)胸壁和椎体相关并发症;(3)神经相关并发症;(4)横膈相关并发症,并对它们及其危险因素的研究进展作一综述。

1 肺和胸膜相关并发症

1.1 支气管胸膜瘘(bronchopleural fistula, BPF) 肺部恶性肿瘤 RFA 后,最常见的并发症就是气胸,其发病率大约 5%~63%^[3-4],其中大部分无需特殊处理或简单的置管引流即可,但如果出现难治性气胸或迟发性气胸,就需要警惕是否发生了 BPF^[5]。BPF 是指支气管与胸膜腔之间形成的窦道,其形成原因是肿瘤组织离胸膜和支气管较近,RFA 治疗本身或治疗后的局部感染导致肿瘤周组织坏死,坏死组织脱落以后,支气管与胸膜腔直接相通。Sakurai 等^[6]最早报道 RFA 治疗肺部肿瘤后出现 0.6% (2/334) 的 BPF。此后,Kashima 等^[4]报道 BPF 发生率为 0.4% (4/1 000)。

已知肺部肿瘤 RFA 治疗后出现 BPF 的危险因素主要有肺功能差、肺内高压和感染。出现 BPF 后若不及时治疗,会引发肺部或胸腔感染甚至死亡^[6]。对于 BPF 的治疗手段主要包括各种外科手术、胸腔引流、支气管镜等,尤其是不同的胶水、线圈、密封剂和气管内瓣膜等的使用^[7]。目前常用的治疗方法是气管内瓣膜置入术,将一个单向瓣膜经纤维支气管镜(纤支镜)置入有瘘的气管内,吸气时瓣膜关闭,气体无法进入胸

膜腔,呼气时瓣膜可打开,胸膜腔内的气体可经瓣膜和气管排出体外^[7]。

1.2 肺部感染相关并发症

1.2.1 肺脓肿及脓胸 在肺部肿瘤 RFA 治疗后,患者往会出现发热,主要是由于坏死组织的炎症反应和细胞因子的产生^[8]。但当发热伴有严重临床症状时,就应怀疑有脓肿等严重感染性并发症的出现。此时需对患者行胸部 X 线摄片或 CT 扫描检查,如在图像上发现肺内或胸腔内积液,则提示脓肿形成。肺部肿瘤 RFA 治疗后肺脓肿的发生率,Sano 等^[9]报道为 0.5% (1/211),Kashima 等^[4]报道为 1.6% (16/1 000)。其发生的主要机制是肺实质损伤后容易受到感染,常见的致病微生物包括:厌氧菌、金黄色葡萄球菌和肺炎克雷伯杆菌^[10]。同时,有肺气肿基础的肺部肿瘤患者,接受 RFA 治疗后形成脓肿的几率明显增加^[4],可能是由于肺气肿患者的肺通气和肺血流均减少、肺组织修复能力差,肺实质更容易受到热损伤。Akeboshi 等^[11]认为,手术时间长和多点消融是增加 RFA 术后肺脓肿的危险因素。Padda 等^[12]认为接受 RFA 治疗的同侧肺曾接受过放疗或微波消融等局部治疗的患者,更易形成脓肿。肺脓肿也被认为是脓胸形成的一个主要原因。无论是肺脓肿还是脓胸,都是不容忽视的严重并发症,不仅会导致患者日渐虚弱,还可能引起脓毒症、BPF、咯血甚至死亡^[13]。内科治疗(全身抗菌药物)是脓肿的首选治疗方法,但是有相当一部分患者需要置管引流冲洗,甚至必要时手术治疗^[14]。

1.2.2 侵袭性肺曲霉病(invasive pulmonary aspergillosis, IPA) 曲霉菌是一种普遍存在的腐生真菌,会释放出成千上万的孢子到空气中,并很容易被吸入到肺中,目前已知的曲霉菌有数百种,但以烟曲霉菌最常见,占 IPA 致病菌的 90%^[15]。RFA 治疗肺部肿瘤后 IPA 的发生率很低,相关报道

也较少^[16], 一项多中心研究显示其发生率为 1.44% (23/1 596)^[17]。当肺部肿瘤患者接受 RFA 治疗后出现持续发热, 且广谱抗生素疗效不佳时, 应考虑 IPA 的发生^[18]。此时需要进行胸部 CT 扫描, CT 检查往往会发现肺部致密且边界清楚的病灶、晕征、新月征和空洞形成, 但确诊需要通过组织活检病理学结果证实; 临床上, 患者出现烟灰色痰伴絮状物也有助于 IPA 的诊断^[16-17]。

RFA 治疗肺部肿瘤后发生 IPA 的主要危险因素包括: 免疫功能受损、肝病、慢性阻塞性肺疾病、糖尿病和化疗史等^[19]。肺部肿瘤患者接受 RFA 治疗后出现 IPA, 其临床症状大多相对较轻, 但也有危及生命的情况 (如大量咯血) 甚至死亡病例被报道^[17], 其大量咯血的原因被认为是曲霉菌丝侵入支气管小动脉引起, 所以积极治疗 IPA 显得非常重要。目前的研究报道, 具有抗曲霉菌活性的抗真菌药物主要分为: 三唑类 (伏立康唑和伊曲康唑)、多烯类 (两性霉素 B) 和卡泊芬净类, 伏立康唑和两性霉素 B 是 IPA 的首选治疗, 而卡泊芬净则更多用于抢救^[19]。对于有潜在大量咯血风险的患者, 支气管动脉栓塞术也是一种合适的选择^[19]。然而, 对于形成肺曲霉菌瘤的患者, 由于抗真菌药物效果不佳, 手术被认为是最佳治疗手段^[20]。另外, 曲霉菌耐寒不耐热, 在 50~60℃ 的温度下 3~4 min 即可被杀灭, Hiraki 等^[21] 就报道了一项成功应用 RFA 治疗肺曲霉菌瘤的病例。

1.3 肺动脉假性动脉瘤 (pulmonary artery pseudoaneurysm, PAPA) 关于肺部肿瘤 RFA 后的出血相关并发症报道较少, 有学者报道肺部 RFA 术后的肺内出血发生率为 6%^[1], 虽然出血相关并发症很少见, 但有致命的风险, 需引起重视^[22-23]。PAPA 就是其中非常严重的一种出血相关并发症, 其发生的原因是由于肺动脉或其分支破裂之后, 邻近组织形成瘤囊包裹流出的血液所致^[22]。目前报道肺动脉及其分支破裂的发生率很低, 为 0.01%~0.47%, 死亡率却高达 33.8%^[24], 也有关于 PAPA 自行消退的情况被报道, 所以有学者认为肺动脉及其分支破裂的发生率可能被低估了^[24-25]。引起 PAPA 的病因有血管炎、感染、肿瘤侵袭、热损伤或机械创伤等, 而肿瘤靠近血管、消融时间长、射频过程中多次穿刺、高龄、血小板减少、支气管扩张症、肺动脉高压、肺曲霉菌病和肺结核等均是肺部 RFA 术后出现 PAPA 的危险因素^[22-25]。肺动脉造影被认为是诊断肺动脉损伤的金标准, 但往往无法检测到 PAPA, 这是因为 PAPA 的外周组织及血管壁充当了瓣膜作用, 加上瘤内血液与血管内血液交换很缓慢, 所以妨碍了 PAPA 在血管造影中的显影^[25]。然而增强 CT 不仅有助于显示 PAPA 的解剖学位置, 还可以直接显示供血血管及其与 PAPA 的关系, 所以对于肺部肿瘤 RFA 术后出现咯血的患者, 应尽早做增强 CT 以便早期发现 PAPA^[25]。咯血是 PAPA 破裂最常见的症状^[24-25], 也有迟发性咯血的报道^[22-23], 大部分轻度咯血经过保守治疗后即可好转, 但 PAPA 破裂引起的大咯血具有致命性, 需引起高度重视, 有时其死亡原因不是血容量的不足, 而是窒息^[25]。所以, PAPA 破裂引起的咯血必须及时干预, 因为保守治疗后, 仍有 30%~40% 的患者还会再次出现咯血, 而且死亡率很高^[22-25]。

经导管栓塞是目前治疗 PAPA 的首选方法, 其死亡率和术后并发症均低于外科手术^[22]。对于肺部肿瘤患者, 为了避免 RFA 治疗后出现 PAPA, 应注意以下几点: (1) 熟练掌握解剖结构, 穿刺过程中避免电极针穿到血管壁; (2) 单极射频针可降低 PAPA 的发生率; (3) 冷冻疗法可以保护血管壁的胶原结构^[23]。由于所谓的“热沉降效应”, 那些邻近大血管 (直径 ≥ 3 mm) 的肿瘤, 很难被 RFA 完全消融, 再加上有出血并发症 PAPA 的可能, 所以有学者认为对于邻近大血管的肿瘤, 应首选外科手术而不是 RFA 治疗^[26]。

1.4 空气栓塞 (air embolism) 肺部肿瘤在影像学引导下行 RFA 治疗或经皮肺穿刺活检, 出现空气栓塞的几率很低, 其发生率约为 0.02%~0.07%, 但这种罕见并发症有潜在的生命危险, 需引起高度重视^[27]。很多患者是在出现意识丧失或心脏骤停时才被发现, Rahman 等^[28] 报道了 1 例 82 岁女性患者, 在进行影像引导下经皮、肺穿刺活检时, 出现呼吸心跳骤停, 随即立刻行 CT 扫描, 发现左心房及右肺静脉中有气泡状致密物, 提示支气管静脉瘘伴空气栓塞; Stimpson 等^[29] 报道了 1 例空气栓塞引起心脏骤停的病例, 48 岁结肠癌肺转移的患者, 在行 CT 引导下 RFA 治疗过程中, 突然意识丧失、心跳骤停, 即刻进行 CT 扫描发现主动脉内大量气体。以上患者, 经过一系列治疗后, 均未报道有后遗症出现; 然而, Jin 等^[30] 报道 1 例肺部肿瘤患者, 在影像引导下行 RFA 治疗后突然出现左侧偏瘫和语言不清, MRI 检查提示急性脑梗死, 考虑是空气栓塞所致, 经一系列治疗后, 患者语言功能恢复, 但遗留左上肢肌力下降的后遗症。

肺部肿瘤行 RFA 治疗引起空气栓塞的危险因素包括 RFA 前行粗针穿刺活检、消融过程中多次穿刺调整位置、肺下叶的病变、肺实质出血、穿刺或治疗过程中咳嗽、患者有冠心病史以及其它慢性病史等^[27-28, 31-32]。

临床上, 受空气栓塞影响最大的是心血管系统、呼吸系统和中枢神经系统^[29]。心血管系统的改变主要有心率改变、右心室应变模式、血压下降, 当动脉中的空气进入冠状动脉可引起特定的磨砂样杂音; 呼吸系统改变包括呼吸困难、喘息反射及肺水肿等; 神经系统表现主要有精神状态差、谵妄甚至昏迷; 心电图 ST 波段改变、动脉血气图示低氧血症、胸部 X 线片可显示部分肺不张、胸部 CT 可显示中央静脉、右心室、肺动脉或心脏的气栓等、实验室检查可见血小板减少和心肌酶增高^[28, 33]。

一旦发生空气栓塞, 需要对患者采取以下措施: (1) 高压氧治疗, 压缩循环系统中气体的体积, 促进氮气和氧气的交换, 减轻血管内皮损伤; (2) 给予纯氧吸入, 促进栓塞空气中氮气被氧气置换, 加快体内空气的吸收; (3) 取特伦德伯卧位 (即头低脚高位) 或左侧卧位; (4) 应用血管扩张剂^[33]。其中高压氧治疗是空气栓塞首选的治疗方法; 有文献报道, 栓塞 6 h 内治疗的成功率为 74%, 栓塞 6 h 后的治疗成功率也达到 44%^[33]。此外, 由于循环系统中气体的浮力不足以抵消动脉血流的力量, 所以体位治疗一般只适用于静脉内空气栓塞和右心室空气栓塞的患者^[33]。此时不宜应用血小板活化剂, 其会促进血小板黏附、加重循环缺血, 可以使用小剂量水杨酸类

药物替代治疗^[34]。

2 胸壁和椎体相关并发症

2.1 肋骨或椎体骨折 目前对于肺部肿瘤 RFA 治疗后肋骨或椎体骨折的报道很少, Le 等^[35]最早报道了 1 例肝癌胸膜下肺转移患者, 接受 RFA 治疗 10 个月 CT 扫描发现肋骨骨折, 开始以为是肿瘤复发侵犯胸壁引起的, 但术后病理显示为肋骨坏死, 考虑为 RFA 热损伤所致。2013 年, Alexander 等^[36]一篇单中心回顾性研究对有肺部肿瘤并接受 RFA 和/或微波消融的 163 例患者进行随访, 发现其中 22 例(13.5%)有靠近消融区的肋骨骨折, 患者从接受 RFA 治疗到发现有肋骨骨折的时间为(20±15.2)个月, 1 年发生率 9%, 3 年发生率 22%, 所有患者均无骨折相关的血管或脏器损伤发生, 仅 9.1%(2/22)的患者报告骨折部位轻度疼痛, 余均无骨折相关疼痛, 考虑可能是因为 RFA 产生的高热导致肋骨周围的神经受损。对于椎体骨折的报道更少, 仅有 Alberti 等^[16]在其文献中提到过 1 例。

肋骨骨折和椎体骨折的危险因素相似。女性比男性风险高 2.8 倍, 肿瘤离胸膜或胸壁越近风险越大, 放疗病史也会增加骨折的风险^[36]。

Alexander 等^[36]曾报道 163 例肺肿瘤经 RFA 和微波消融治疗后, 有 13.5%(22/163)的患者发现了位于消融区附近的肋骨骨折; 但 Kashima 等^[4]的研究则认为, 肋骨骨折即使是在骨组织的 RFA 融病例中也是罕见并发症, 他们对 420 例患者的 1 000 次肺部 RFA 术后的并发症进行研究, 并未发现 1 例肋骨骨折。导致这种差异的原因可能是 RFA 过程中, 进针方式的不同、穿刺部位的不同以及消融有效区域与肋骨的关系等^[36]。所以, 为了减少这种并发症的发生, 应选择较宽的肋间隙进针; 尽量远离肋骨, 如果实在无法避开肋骨, 则应该远离较薄的前肋; 选择进针方向时, 应尽量使消融有效区域与肋骨减少重叠, 必要时可以应用“人工气胸”技术来使肿瘤远离胸壁。

2.2 肋间动脉假性动脉瘤 (intercostal artery pseudoaneurysm, IAPA) IAPA 极为罕见, 相关报道很少。胸廓内动脉起自锁骨下动脉, 在第 6 肋间隙分为肌膈动脉和腹壁上动脉, 其中肌膈动脉分布于下五个肋间隙前部、腹壁诸肌及横膈。IAPA 较容易早期破裂, 一旦破裂, 容易引起胸腔积血, 所以早期诊断非常重要, 增强 CT 扫描是诊断 IAPA 的重要手段。经导管栓塞治疗是目前的首选治疗方法, 治疗前需注意 IAPA 可能存在多种血供, 如肋间动脉前、后段及肌膈动脉等^[37]。为了避免肺部 RFA 治疗引起 IAPA, 需要注意以下几点: (1) 熟知胸壁血管的解剖; (2) 射频针进针途径应尽量选择较宽的肋间隙; (3) 如果肿瘤贴近胸壁, 必要时可以应用“人工气胸”技术来使肿瘤远离胸壁。

3 神经相关并发症

神经组织对热很敏感, 神经损伤的程度都取决于温度水平和暴露时间, 不可逆的损伤主要发生在 42.2℃ 中暴露 50~60 min 或 70℃ 中暴露 5 min, 有研究报道, 胸部肿瘤 RFA 治疗

中神经损伤的发生率为 1.6%(8/509)^[38]。除高热以外, 电流介导的电磁效应也可促进神经损伤^[39]。

3.1 臂丛神经 根据已有的神经损伤相关报道, 臂丛神经是肺部肿瘤 RFA 治疗后最常见的神经损伤并发症^[40], Kashima 等^[4]报道为 0.3%(3/1 000), Palussière 等^[38]报道为 0.6%(3/509)。不过这部分肿瘤主要分布在肺尖部, Hiraki 等^[39]报道 4 例(0.55%)全部都是肺尖部的肿瘤。这主要与解剖分布有关, 臂丛神经是一个复杂的神经网络, 起源于脊髓 C₅ 到 T₁ 水平的腹侧支, 支配上肢^[41], 其受损后的主要临床表现包括前臂和手指的感觉异常和疼痛, 但是不会有任何运动功能障碍。

3.2 星状神经节 星状神经节是位于两侧颈根部的交感神经节, 它由颈下神经节与第一或第二的胸神经节融合而成; 其受损通常被认为是霍纳氏综合征的发病原因, 主要临床表现为上睑下垂、瞳孔缩小和面部无汗症等^[42]。Palussière 等^[38]报道过 1 例肺部肿瘤 RFA 术后出现星状神经节损伤, 患者术后即刻出现左侧眼睑下垂和左侧瞳孔缩小, 症状持续存在, 于 6 个月后进行手术矫正。

3.3 喉返神经 肺部肿瘤 RFA 术引起喉返神经损伤的报道很少, Palussière 等^[38]报道过 1 例左侧喉返神经损伤。患者病灶位于左上纵隔旁, 术后患者随即出现声音嘶哑和声带麻痹。左侧喉返神经在主动脉弓的水平由迷走神经发出, 然后在主动脉弓后方通过主肺动脉窗, 所以左侧喉返神经易被左上纵隔旁肿瘤消融治疗产生的热能损伤。右侧喉返神经起源于迷走神经位于锁骨下动脉前, 并在动脉后方的头臂干分叉处斜向胸膜顶的气管食管沟, 在胸内走行长度较左侧短, 所以左侧较右侧更易受损^[43]。声带的运动是由喉返神经支配的肌肉所控制, 当单侧喉返神经受损时, 会出现声音嘶哑。常用的治疗方法是外科手术(如喉成形术), 此外也可选择喉神经移植。

3.4 膈神经 膈神经损伤是一种严重并发症, 但主要见于膈下肝脏肿瘤的消融治疗^[44]。肺部肿瘤 RFA 治疗后膈神经损伤的报道较少, Matsui 等^[40]报道其发生率为 1.3%(10/786), Palussière 等^[38]也报道过 1 例, Iguchi 等^[45]对 26 例患者中 29 个靠近横膈的肺肿瘤进行 RFA, 3 例出现膈神经损伤。膈神经包括运动神经、感觉神经和交感神经纤维, 为膈肌提供运动神经支配, 也为膈肌的中央胸膜和腹膜表面提供感觉神经支配, 它主要来自 C₄, 也有部分来自 C₃ 和 C₅。膈神经支配膈肌运动, 承担了 2/3 的肺活量, 一旦膈神经受损会影响肺的呼吸功能; 由于其解剖分布, 并不是只有膈肌附近的 RFA 治疗才会引起膈神经损伤; 胸部 X 线片检查显示一侧膈肌抬高超过 1 个肋间, 则认为是膈神经受损^[40,46]。Matsui 等^[40]认为肺部 RFA 后出现膈神经损伤的主要危险因素是肿瘤与膈神经距离 < 10 mm, 此外, 消融功率大小及消融时间也是引起膈神经损伤的危险因素。

4 横膈相关并发症(膈肌穿孔或膈疝形成)

膈肌损伤是一种非常严重的并发症, 也很罕见, 有研究报道其发生率为 0.1%~2.3%^[4,47-48]。Mori 等^[49]2010 年首次报道 1 例 39 岁女性在接受肺部转移性肿瘤 RFA 后出现膈肌

穿孔,这也是首例关于膈肌穿孔的报道。Hiraki 等^[48]报道了 1 例肺部肿瘤 RFA 术后出现膈疝,部分肝脏疝入胸腔,但是患者没有症状。Alberti 等^[48]及 Schwartz 等^[50]报道了肺部肿瘤 RFA 术后膈疝的发生,其中 2 例患者因肠管疝入胸腔引起肠梗阻,2 例因胃疝入胸腔引起胃食管反流。从解剖学上分析,横膈的中心部位是中央腱,这里最薄也是最容易发生膈疝的部位。有学者认为射频针的电极与横膈接触,是导致膈疝发生的最主要危险因素^[48]。但是,有的膈疝发生在 RFA 术后较长时间以后,可能的原因是 RFA 的热损伤导致膈膜发生炎症反应,导致其纤维化,再加上腹腔胸腔之间的压力梯度,促使了膈疝的发生^[51]。对于靠近横膈的肿瘤,有学者建议使用“人工气胸”让病灶远离膈肌^[45]。对于膈疝的治疗,主要是通过手术修复。右侧膈疝由于肝脏体积较大,不适合腹腔镜修复,往往通过传统开放式手术来修复,而左侧膈疝通常在腹腔镜下用假体补片进行修补^[52]。

5 结 语

肺部肿瘤 RFA 治疗虽然是相对安全的,但也有不同并发症的出现。本文对其中较为罕见的并发症进行了归纳总结,虽然这些并发症发生率很低,但是其中很多罕见并发症都是具有致命性的,例如 IPA、PAPA、空气栓塞、IAPA 等。医生需要熟悉这些并发症的潜在危险因素和临床表现,更要熟练掌握对症处理方法。在临床工作中尽量避免这些并发症的发生,如果已经发生,应当立即采取措施,将对患者的伤害降低到最低。

参 考 文 献

- [1] Dupuy DE, Zagoria RJ, Akerley W, et al. Percutaneous radiofrequency ablation of malignancies in the lung [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2000, 174(1): 57-59.
- [2] Bhatia S, Pereira K, Mohan P, et al. Radiofrequency ablation in primary non-small cell lung cancer; What a radiologist needs to know [J]. *Indian J Radiol Imaging*, 2016, 26(1): 81-91.
- [3] Liu BD, Ye X, Fan WJ, et al. Expert consensus on image-guided radiofrequency ablation of pulmonary tumors; 2018 edition [J]. *Thoracic Cancer*, 2018, 9(9): 1194-1208.
- [4] Kashima M, Yamakado K, Takaki H, et al. Complications after 1000 lung radiofrequency ablation Sessions in 420 patients; a single center's experiences [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2011, 197(4): W576-W580.
- [5] Clasen S, Kettenbach J, Kosan B, et al. Delayed Development of Pneumothorax After Pulmonary Radiofrequency Ablation [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2009, 32(3): 484-490.
- [6] Sakurai J, Hiraki T, Mukai T, et al. Intractable pneumothorax due to bronchopleural fistula after radiofrequency ablation of lung tumors [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2007, 18(1 Pt 1): 141-145.
- [7] Alexander ES, Healey TT, Martin DW, et al. Use of endobronchial valves for the treatment of bronchopleural fistulas after thermal ablation of lung neoplasms [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2012, 23(9): 1236-1240.
- [8] Masaoka Y, Hiraki T, Gohara H, et al. Fever after lung radiofrequency ablation: Prospective evaluation of its incidence and associated factors [J]. *Eur J Radiol*, 2015, 84(11): 2202-2209.
- [9] Sano Y, Kanazawa S, Gohara H, et al. Feasibility of percutaneous radiofrequency ablation for intrathoracic malignancies; a large single-center experience [J]. *Cancer*, 2007, 109(7): 1397-1405.
- [10] Walker CM, Abbott GF, Greene RE, et al. Imaging pulmonary infection; classic signs and patterns [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2014, 202(3): 479-492.
- [11] Akeboshi M, Yamakado K, Nakatsuka A, et al. Percutaneous radiofrequency ablation of lung neoplasms; initial therapeutic response [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2004, 15(5): 463-470.
- [12] Padda S, Kothary N, Donington J, et al. Complications of ablative therapies in lung cancer [J]. *Clin Lung Cancer*, 2008, 9(2): 122-126.
- [13] 叶振伟, 王在国, 张伟标, 等. CT 引导下经皮穿刺射频消融治疗晚期肺部恶性肿瘤 6 例体会 [J]. *现代肿瘤医学*, 2015, 23(23): 3426-3429.
- [14] Kuhajda I, Zarogoulidis K, Tsigogianni K, et al. Lung abscess-etiology, diagnostic and treatment options [J]. *Ann Transl Med*, 2015, 3(13): 183.
- [15] Kwon-Chung KJ, Sugui JA. *Aspergillus fumigatus*-what makes the species a ubiquitous human fungal pathogen? [J]. *PLoS Pathog*, 2013, 9(12): e1003743.
- [16] Alberti N, Frulio N, Trillaud H, et al. Pulmonary aspergilloma in a cavity formed after percutaneous radiofrequency ablation [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2014, 37(2): 537-540.
- [17] Huang GH, Ye X, Yang X, et al. Invasive pulmonary aspergillosis secondary to microwave ablation; a multicenter retrospective study [J]. *Int J Hyperthermia*, 2018, 35(1): 71-78.
- [18] Schwartz S, Thiel E. Clinical presentation of invasive aspergillosis [J]. *Mycoses*, 1997, 40 Suppl 2: 21-24.
- [19] Patterson KC, Streck ME. Diagnosis and treatment of pulmonary aspergillosis syndromes [J]. *Chest*, 2014, 146(5): 1358-1368.
- [20] Yoshida K, Kurashima A, Kamei K, et al. Efficacy and safety of short- and long-term treatment of itraconazole on chronic necrotizing pulmonary aspergillosis in multicenter study [J]. *J Infect Chemother*, 2012, 18(3): 378-385.
- [21] Hiraki T, Gohara H, Kato K, et al. A Case of Pulmonary Aspergilloma Treated with Radiofrequency Ablation [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2014, 37(2): 554-557.
- [22] Yamakado K, Takaki H, Takao M, et al. Massive hemoptysis from pulmonary artery pseudoaneurysm caused by lung radiofrequency ablation; successful treatment by coil embolization [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2010, 33(2): 410-412.
- [23] Sakurai J, Mimura H, Gohara H, et al. Pulmonary Artery Pseudoaneurysm Related to Radiofrequency Ablation of Lung Tumor [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2010, 33(2): 413-416.
- [24] Abreu AR, Campos MA, Krieger BP. Pulmonary artery rupture induced by a pulmonary artery catheter; a case report and review of the literature [J]. *J Intensive Care Med*, 2004, 19(5): 291-296.
- [25] Bussièrès JS. Iatrogenic pulmonary artery rupture [J]. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2007, 20(1): 48-52.

- [26] Hiraki T, Sakurai J, Tsuda T, et al. Risk factors for local progression after percutaneous radiofrequency ablation of lung tumors: evaluation based on a preliminary review of 342 tumors [J]. *Cancer*, 2006, 107 (12): 2873 - 2880.
- [27] Lang D, Reinelt V, Horner A, et al. Complications of CT-guided trans-thoracic lung biopsy: A short report on current literature and a case of systemic air embolism [J]. *Wien Klin Wochenschr*, 2018, 130 (7/8): 288 - 292.
- [28] Rahman ZU, Murtaza G, Pourmorteza M, et al. Cardiac arrest as a consequence of air embolism: a case report and literature review [J]. *Case Rep Med*, 2016, 2016: 8236845.
- [29] Stimpson R, Patel S, Shah R, et al. Aortic air embolus following pulmonary tumor radiofrequency ablation [J]. *Radiol Case Rep*, 2016, 11 (4): 341 - 343.
- [30] Jin GY, Lee JM, Lee YC, et al. Acute cerebral infarction after radiofrequency ablation of an atypical carcinoid pulmonary tumor [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2004, 182 (4): 990 - 992.
- [31] Fiore L, Frenk NE, Martins GLP, et al. Systemic air embolism after percutaneous lung biopsy: a manageable complication [J]. *J Radiol Case Rep*, 2017, 11 (6): 6 - 14.
- [32] Viqas Z, Yar A, Yaseen M, et al. Cardiac arrest due to air embolism: complicating image - guided lung biopsy [J]. *Cureus*, 2018, 10 (9): e3295.
- [33] Jorens PG, Van Marck E, Snoeckx A, et al. Nonthrombotic pulmonary embolism [J]. *Eur Respir J*, 2009, 34 (2): 452 - 474.
- [34] Rapicetta C, Lococo F, Levrini G, et al. Asymptomatic air-embolism following percutaneous radiofrequency ablation of lung tumor: Rare or underestimated complication? [J]. *Thorac Cancer*, 2015, 6 (2): 227 - 229.
- [35] Le TX, Andrews RT. Thermal osteonecrosis of the rib after radiofrequency ablation in the thorax [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2008, 19 (6): 940 - 944.
- [36] Alexander ES, Hankins CA, Machan JT, et al. Rib fractures after percutaneous radiofrequency and microwave ablation of lung tumors: incidence and relevance [J]. *Radiology*, 2013, 266 (3): 971 - 978.
- [37] Alberti N, Buy X, Frulio N, et al. Rare complications after lung percutaneous radiofrequency ablation: Incidence, risk factors, prevention and management [J]. *Eur J Radiol*, 2016, 85 (6): 1181 - 1191.
- [38] Palussière J, Canella M, Cornelis F, et al. Retrospective review of thoracic neural damage during lung ablation-what the interventional radiologist needs to know about neural thoracic anatomy [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2013, 36 (6): 1602 - 1613.
- [39] Hiraki T, Gobara H, Mimura H, et al. Brachial nerve injury caused by percutaneous radiofrequency ablation of apical lung cancer: a report of four cases [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2010, 21 (7): 1129 - 1133.
- [40] Matsui Y, Hiraki T, Gobara H, et al. Phrenic nerve injury after radiofrequency ablation of lung tumors: retrospective evaluation of the incidence and risk factors [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2012, 23 (6): 780 - 785.
- [41] Truong MT, Nadgir RN, Hirsch AE, et al. Brachial plexus contouring with CT and MR imaging in radiation therapy planning for head and neck cancer [J]. *Radiographics*, 2010, 30 (4): 1095 - 1103.
- [42] Palussière J, Cannella M, Gómez F, et al. Stellate ganglion injury after percutaneous radiofrequency ablation of a lung tumor [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2011, 34 (4): 873 - 876.
- [43] Kurup AN, Morris JM, Schmit GD, et al. Neuroanatomic considerations in percutaneous tumor ablation [J]. *Radiographics*, 2013, 33 (4): 1195 - 1215.
- [44] Kang TW, Rhim H, Lee MW, et al. Radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma abutting the diaphragm: comparison of effects of thermal protection and therapeutic efficacy [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2011, 196 (4): 907 - 913.
- [45] Iguchi T, Hiraki T, Gobara H, et al. Radiofrequency ablation of pulmonary tumors near the diaphragm [J]. *Diagn Interv Imaging*, 2017, 98 (7/8): 535 - 541.
- [46] Nason LK, Walker CM, McNeely MF, et al. Imaging of the diaphragm: anatomy and function [J]. *Radiographics*, 2012, 32 (2): E51 - E70.
- [47] Hiraki T, Gobara H, Masaoka Y, et al. Diaphragmatic hernia after percutaneous radiofrequency ablation of lung tumor [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2011, 22 (12): 1777 - 1778.
- [48] Alberti N, Ferretti G, Buy X, et al. Diaphragmatic hernia after lung percutaneous radiofrequency ablation: incidence and risk factors [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2014, 37 (6): 1516 - 1522.
- [49] Mori T, Kawanaka K, Ohba Y, et al. Diaphragm perforation after radio-frequency ablation for metastatic lung cancer [J]. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*, 2010, 16 (6): 426 - 428.
- [50] Schwartz A, Desolneux G, Desjardin M, et al. Symptomatic diaphragmatic hernia after pulmonary radiofrequency ablation [J]. *J Vasc Surg*, 2013, 150 (2): 157 - 158.
- [51] Soufi M, Meillat H, Le Treut YP. Right diaphragmatic iatrogenic hernia after laparoscopic fenestration of a liver cyst: report of a case and review of the literature [J]. *World J Emerg Surg*, 2013, 8: 2.
- [52] Groth SS, Andrade RS. Diaphragm plication for eventration or paralysis: a review of the literature [J]. *Ann Thorac Surg*, 2010, 89 (6): S2146 - S2150.

收稿日期: 2019-03-11 修回日期: 2019-04-12 编辑: 王宇