

• 实验研究 Experimental research •

PET/CT 及 DWI-MRI 早期评估兔 VX2 肉瘤
射频消融效果

石华铮, 刘士远, 朱海云, 杨春山, 高 欣, 平照福, 寿 毅,
华 威, 吴 翔

【摘要】 目的 探讨弥散加权(DWI)-MRI 和 ^{18}F -FDG-PET/CT 评估兔 VX2 肉瘤射频消融(RFA)治疗早期效果的价值。**方法** 14 只新西兰白兔双侧后肢接种 VX2 肉瘤建模,一侧后肢 VX2 肉瘤接受超声引导下 RFA 治疗(RFA 组),对侧后肢不进行射频治疗(对照组)。RFA 治疗后 2 d 行 DWI-MRI 检查,治疗后 3 d 行 PET/CT 检查。分别计算肿瘤病灶和消融灶表观弥散系数(ADC)值和标准摄取值(SUV)值。根据外科切除病灶组织病理学检查结果金标准,分别对 DWI-MRI、PET/CT 及两者联合等 3 种方法评估 RFA 瘤灶行临床诊断一致性 Kappa 检验。**结果** VX2 肉瘤 RFA 前,DWI-MRI 显示 T1 低信号,T2 高信号,T1 加权像环状强化,PET/CT 显示 ^{18}F -FDG 呈结节状或环状聚集;消融后 DWI-MRI 显示 T1 高信号,T2 轻度高密度,T1 加权像轻度强化,PET/CT 显示 ^{18}F -FDG 浓聚程度减低。消融瘤灶 ADC 值为 $(1.52 \pm 0.24) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,明显高于未消融瘤灶 $(1.09 \pm 0.12) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ($P < 0.05$);SUV 值为 (0.60 ± 0.30) ,明显低于未消融瘤灶 (9.60 ± 3.20) ($P < 0.05$)。单独 DWI-MRI 与单独 PET/CT 评估结果的敏感性、特异性及准确性与组织病理学诊断结果的一致性 Kappa 值分别为 0.357 和 0.428,无显著性差别 ($P > 0.05$),DWI-MRI 联合 PET/CT 评估结果与组织病理学诊断结果的一致性 Kappa 值为 0.786,与前两者均有显著性差别 ($P < 0.05$)。**结论** DWI-MRI 显像 ADC 值和 FDG-PET/CT 显像 SUV 值是评估 RFA 治疗早期效果的有临床应用价值的指标。DWI-MRI 与 FDG-PET/CT 诊断肿瘤病灶治疗效果各具优势,两者联合应用可有效提高疗效评估的准确性。

【关键词】 射频消融; 弥散加权像; 兔 VX2 肿瘤; PET/CT; 早期疗效

中图分类号:R735 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2015)-03-0243-05

FDG-PET/CT and diffusion-weighted MRI evaluation of the early therapeutic effect of radiofrequency ablation for VX2 sarcomas in rabbits SHI Hua-zheng, LIU Shi-yuan, ZHU Hai-yun, YANG Chun-shan, GAO Xin, PING Zhao-fu, SHOU Yi, HUA Wei, WU Xiang. Department of Radiology, Shanghai Changzheng Hospital, the Second Military Medical University, Shanghai 200003, China

Corresponding author: LIU Shi-yuan, E-mail: 1090830052@qq.com

【Abstract】 Objective To discuss the value of diffusion-weighted MRI (DWI) and ^{18}F -FDG-PET/CT in assessing the early therapeutic effect of radiofrequency ablation (RFA) for VX2 sarcomas in experimental rabbits. **Methods** VX2 sarcoma was inoculated at bilateral hind limbs in 14 New Zealand white rabbits to establish the animal models. The implanted VX2 tumor on one hind leg was treated with ultrasound-guided percutaneous RFA (study group), while no RFA was given to the VX2 tumor on the contralateral hind leg (control group). DWI-MRI was performed at 2 days after RFA, and ^{18}F -FDG-PET/CT examination was employed at 3 days after RFA. The mean apparent diffusion coefficient (ADC) values and standard uptake value (SUV) of the untreated tumor and the ablated tumor were separately calculated. Taking the pathologic result as the gold standard, the consistency of DWI-MRI, PET/CT as well as the combination of DWI-MRI and PET/CT with the clinical diagnosis was separately evaluated by Kappa test. **Results** Before RFA, DWI-

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2015.03.015

作者单位: 200003 上海 第二军医大学长征医院影像科(石华铮、刘士远);解放军第 85 医院 PET/CT 中心(石华铮、朱海云、杨春山、高 欣、平照福、寿 毅、华 威、吴 翔)

通信作者: 刘士远 E-mail: 1090830052@qq.com

MRI demonstrated that the VX2 tumor was characterized by hypo-intensity signal on T1 and hyper-intensity signal on T2 with ring-shaped enhancement on T1-weighted image; PET/CT showed that the tumor had nodular or ring-shaped ^{18}F -FDG accumulation. After RFA, DWI-MRI revealed that the VX2 tumor was manifested as hyper-intensity signal on T1 and slight higher density on T1 with slight enhancement on contrast-enhanced T1-weighted image; PET/CT showed lowered accumulation of ^{18}F -FDG. The mean ADC value of the ablated tumor was $(1.52 \pm 0.24) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, which was obviously higher than that of the un-ablated tumor, that was $(1.09 \pm 0.12) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, the difference was statistically significant ($P < 0.05$). The mean SUV value of the ablated tumor was (0.6 ± 0.3) , which was significantly lower than that of the ablated tumor (9.6 ± 3.2 , $P < 0.05$). No significant difference in sensitivity, specificity and accuracy existed between DWI-MRI and pathology as well as between PET/CT and pathology, the Kappa value being 0.357 and 0.428 respectively ($P > 0.05$). The Kappa value of the consistency between combination of DWI-MRI with PET/CT and pathology was 0.786, which was significantly different from the result by simple DWI-MRI or simple PET/CT evaluation ($P < 0.05$). **Conclusion** Both ADC value of DWI-MRI and SUV value of PET/CT are useful indexes for evaluating the early therapeutic effect of RFA. Both DWI-MRI and PET/CT have their respective advantages, nevertheless, combination use of both can effectively improve the evaluation of curative effect for VX2 tumor after RFA in experimental rabbits. (J Intervent Radiol, 2015, 24: 243-247)

【Key words】 radiofrequency ablation; diffusion-weighted imaging; rabbit VX2 tumor; PET/CT; early effect

射频消融(RFA)是利用微波、激光和超声产生热凝固性坏死并损毁肿瘤的一种治疗方式,对无法手术切除的肝脏、肺脏、肾脏、骨、肾上腺和乳腺肿瘤具有十分重要的实用价值^[1-2],并可在不增加并发症前提下改善患者疗效和生存率^[3]。针对这类患者,临床上希望早期准确评估肿瘤 RFA 效果,然而早期 RFA 病灶局部炎症反应明显,单纯依赖解剖图像变化很难评估治疗反应究竟如何。PET/CT 虽可早期评估消融疗效,但价格昂贵,很难广泛应用。有研究发现弥散加权 (DWI)-MRI 可以检测脑梗死早期变化^[4],因此本研究试图利用 DWI-MRI 表观弥散系数(ADC)值评估射频治疗兔 VX2 肉瘤的早期效果并对比分析 ^{18}F -FDG-PET/CT 标准摄取值(SUV)评估结果,同时评估 DWI-MRI、PET/CT 及两者联合诊断射频治疗病灶的一致性。

1 材料与方法

1.1 实验动物和 VX2 肿瘤模型建立

本研究获得上海交通大学医学院动物实验伦理委员会批准。普通级新西兰白兔 14 只(上海市第六人民医院动物实验中心提供),体重 2.0~2.5 kg, 3~4 月龄,雌雄不限。VX2 荷瘤种兔购自上海交通大学医学院。所有外科操作均在兔处于基础麻醉(耳缘静脉注射 3.0%戊巴比妥钠 1 ml/kg)下进行。切取荷瘤种兔 VX2 瘤体边缘组织,将鱼肉状肿瘤组织剪成 $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$ 大小并置于 4℃ Hank 液备用。采用切

口瘤块包埋种植法构建模型:卧位固定、备皮、消毒后切开后肢血供丰富的肌肉组织 2 cm,将 VX2 瘤块分别接种于 14 只兔双后肢肌肉中,逐层缝合关闭切口,独笼饲养。共 28 个肿瘤样本用于本实验。

1.2 RFA

为确保单针 RFA 范围可以完全消融肿瘤病灶,于肿瘤种植后 7 d 行射频治疗。一侧后肢肿瘤行射频治疗(RFA 组),另一侧后肢肿瘤作为未治疗对照组。麻醉满意后,超声引导下将可伸缩钩样电极针经皮穿刺进入 VX2 肿瘤,针尖置于肿瘤中心位置,完全打开针尖。将 RF2000 型射频治疗仪(美国 Boston 科技公司)自粘性接地片贴于兔模型腹部,功率设置为 20 W,每 2 分钟增加 10 W,直到射频能量导致组织脱水产生的电阻力使治疗仪自动停止为止(如果未自动停止,最长工作时间为 6 min)。具有 5 年工作经验的医师完成 RFA 治疗过程。

1.3 DWI-MRI 检查

VX2 兔经射频治疗后 2 d,采用 1.5-T MR 成像系统扫描检测 14 只模型兔:麻醉后俯卧固定,选用快速自旋回波 T1 加权图像(TR/TE 532/15 ms,矩阵 512×256)、快速自旋回波 T2 加权图像(TR/TE 4 000/96 ms,矩阵 512×256)及抑脂频率(5 100/137 ms,矩阵 512×256),扩散敏感系数(b 值)为 50、500、1 000 s/mm^2 ,层厚 3.0 mm,间隔 1.0 mm,视野 21 cm。采用单盲法阅片,测定治疗组与对照组肿瘤区域 ADC 值,b 值取 300、600、800 s/mm^2 。采用视

觉分析法建立肿瘤病灶治疗后 DWI-MRI 评价标准:DWI 显像治疗区域若显示较周围本底有明显增高的信号影,评价为有肿瘤活性残存;若治疗区域信号与本底基本一致,则评价为肿瘤活性减灭。

1.4 PET/CT 检查

VX2 兔经射频治疗第 3 天,禁食 4 h 后被麻醉俯卧固定,耳缘静脉 21 G 留置针注入 ^{18}F -FDG (37 MBq/kg),45~50 min 后采集图像。CT 扫描参数为 140 kV,80 mA,旋转 1 周时间为 0.8 s,螺距 5.0 mm,床速 22.5 mm/s;PET 图像采集时间为每床位 5 min。以 SUV 值作为定量指标,通过 Xeleris™ 功能成像处理查看系统(美国通用医疗生物科学公司)图像融合工作站调用 PET/CT 断层图像,获得横断面数据;根据 CT 图像准确选取肿瘤最大切面,在 PET 图像上勾画对照组与治疗组肿瘤区域边缘,取放射性浓聚较均匀部位作 SUV 值检测,获得肿瘤组织最大 SUV(SUV_{\max})值。建立肿瘤病灶治疗后 FDG-PET/CT 评价标准:① 肿瘤活性残存:治疗区域仍有灶状、片状、块状 FDG 摄取增高影,且治疗勾画区域 SUV_{\max} 值 ≥ 2.5 ;② 肿瘤活性减灭:治疗区域 FDG 摄取值与周围组织本底基本相同,且治疗勾画区域 SUV 值 < 2.5 。

1.5 组织病理学检查

PET-CT 扫描后以过量麻醉(戊巴比妥钠 90 mg/kg)处死所有实验兔,外科手术切除一侧后肢肿瘤组织及对侧后肢消融区域组织,石蜡包埋固定,HE 染色后作光镜下组织病理学观察。建立肿瘤治疗后组织病理学评价标准:① 肿瘤活性消亡:多个镜下视野见治疗区域细胞弥漫凝固性坏死,伴或不伴充血、液性坏死及炎性细胞浸润;② 肿瘤活性残存:镜下视野见治疗区域肿瘤细胞片状分布。

1.6 统计学方法

采用 t 检验分析未处理肿瘤病灶和 RFA 后病灶的 ADC 值和 SUV_{\max} 值。以病理学检查结果为金标准,通过临床诊断一致性检验评估 DWI-MRI、PET/CT 及 DWI-MRI 联合 PET/CT 显像的敏感性、特异性和准确性,并计算各评价方法的 Kappa 值。采用 SPSS13.0 统计软件对以上数据进行分析,计量资料以均数 \pm 标准差表示, $P < 0.05$ 视为差异有统计学意义。

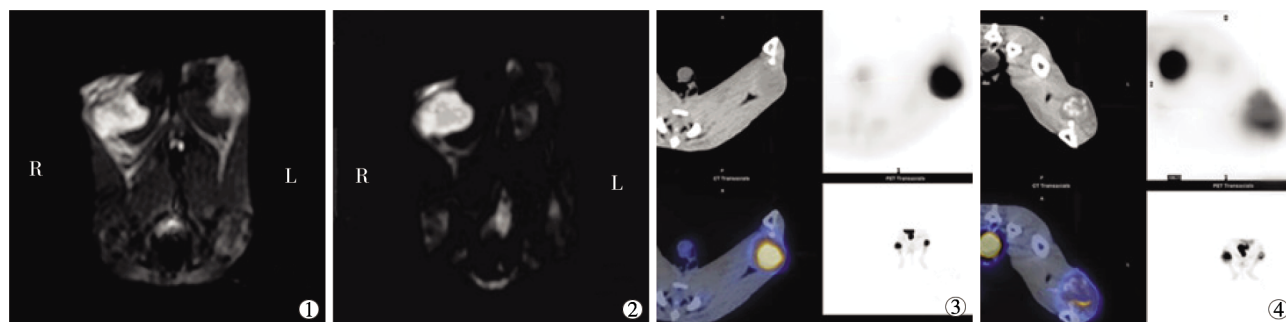
2 结果

2.1 一般资料

本研究中动物模型构建成功率为 100%。成瘤肿块样本共 28 个,种植后 1 周肿瘤平均直径为 $(1.6 \pm 0.16)\text{cm}$ 。所有 14 只兔模型均成功接受超声引导下射频治疗,平均消融时间为 $(5.07 \pm 0.77)\text{min}$,平均初始阻抗为 $(60.9 \pm 10.0)\Omega$ 。DWI-MRI 和 PET/CT 显像成功率均为 100%。所有动物在射频消融术后 1 d 进食量均见减少,术后 3 d 恢复正常。

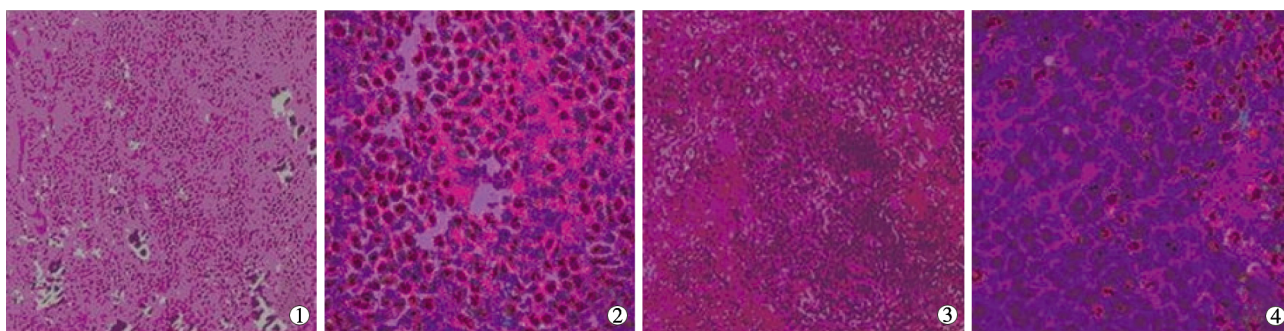
2.2 DWI-MRI 和 PET/CT 评估未治疗 VX2 肿瘤

MRI 图像见 VX2 荷瘤与周围肌肉组织境界清晰,呈现 T2 较均匀高信号。增强扫描 T1 加权像可见瘤灶环状强化,DWI 呈较高信号。PET/CT 图像显示 ^{18}F -FDG 浓聚于肿瘤组织内,呈结节状或环状高度聚集区域(图 1)。定量分析表明 VX2 荷瘤平均 ADC 值和平均 SUV_{\max} 值分别为 $(1.09 \pm 0.12) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ 和 (9.60 ± 3.20) 。病理组织大体标本切面见灰红、鲜嫩鱼肉样组织,肿瘤中心可见卵圆形液化坏死,与正常组织间界限明显。镜下观察 HE 染色示大量肿瘤细胞排列紊乱、核大浓染,胞质少胞界不清,呈异型性改变。VX2 肿瘤含有高度恶性肿瘤细胞,周边区域呈现有活力的肿瘤细胞,中央区域为液化性坏死病变(图 2)。



①未治疗 VX2 肉瘤病灶均呈现 DWI 高信号,ADC 值为 $1.20 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$;②VX2 肉瘤消融治疗后 DWI 信号(左侧为病灶消融治疗后,右侧病灶为未治疗对照)明显减低,仅残留斑片状稍高信号影,ADC 值为 $1.71 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$;③未治疗 VX2 肉瘤 FDG-PET/CT 显像示肉瘤呈结节状 FDG 聚集, SUV_{\max} 值 = 10.5;④VX2 肉瘤消融治疗后仅残留边缘少量 FDG 浓聚影, SUV_{\max} 值 = 1.2

图 1 射频治疗和未治疗 VX2 肉瘤 DWI-MRI 与 FDG-PET/CT 显像图



①未治疗 VX2 肉瘤 100 倍镜下显示肿瘤细胞密度高;②400 倍镜下显示核浆比例失衡,异型性明显;③肿瘤病灶消融治疗后 100 倍镜下细胞密度减低,细胞间隙增大,并出现片状红染无结构区域;④400 倍镜下显示凝固性坏死区域

图 2 射频治疗和未治疗 VX2 肉瘤病理组织 HE 染色

2.3 DWI-MRI 和 PET/CT 评估 RFA 后 VX2 肿瘤

RFA 区域为 T1、T2 稍高信号,T1 加权增强图像轻度强化,与未处理肿瘤的 DWI 高信号相比,消融灶 DWI 信号减低。PET 图像示 ^{18}F FDG 聚集效应明显减低(图 1)。定量分析表明消融灶 ADC 值和 SUV_{\max} 值分别为 $(1.52 \pm 0.24) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 和 (0.60 ± 0.30) ,与未治疗肿瘤 ADC 值和 SUV_{\max} 值比较分别为明显增加 ($t = 6.36, P = 0.001$) 和明显减低 ($t = 8.18, P = 0.000$)(表 1)。病理分析发现消融灶瘤细胞肿胀,细胞密度减少,瘤细胞破裂溶解及片状凝固坏死,出现核固缩、染色质模糊溶解、胞质嗜酸性坏死、胞质边界模糊等特征性改变(图 2)。坏死区域周围可见单核细胞、中性粒细胞浸润。

表 1 RFA 组和未治疗对照组 ADC 值、 SUV_{\max} 值变化情况

分组	例数	ADC 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	SUV_{\max} 值
对照组	14	1.09 ± 0.12	9.60 ± 3.20
射频组	14	1.52 ± 0.24	0.60 ± 0.30
t 值		6.36	8.18
P 值		0.001	0.000

注: $P < 0.05$ 视为有统计学意义

2.4 不同方法评价 VX2 肿瘤射频治疗的统计学比较

DWI-MRI 评价方法与 PET/CT 评价方法的敏感性、特异性、准确性无显著性差别,两者 Kappa 值分别为 0.357 和 0.428 ($P > 0.05$);DWI-MRI 联合 PET/CT 评价方法较单独 DWI-MRI 及单独 PET/CT 评价方法的敏感性、特异性及准确性均有显著性差别,其 Kappa 值为 0.786 ($P < 0.05$)(表 2)。

3 讨论

MRI 常规成像技术是目前临床上最常用的肿瘤射频治疗效果的评价方法,具有较高应用价值,但也存在一定缺陷。这表现在 RFA 后病灶及周围组织热损伤导致信号改变,干扰恶性肿瘤残存灶的检

表 2 不同方法评价 VX2 肿瘤射频治疗的敏感性、特异性和准确性

评价方法	敏感性	特异性	准确性	Kappa 值
DWI-MRI	71.4%	64.3%	67.9%	0.357
PET/CT	71.4%	71.4%	71.4%	0.428
DWI-MRI 联合 PET/CT	85.7%	92.9%	89.3%	0.786

注: $P < 0.05$ 视为有统计学意义

出^[5]。本研究发现 RFA 后常规 MR 图像信号在 T1 及 T2 加权像有所改变,但尚无法判断病灶内是否有肿瘤残存。可见,通过观察肿瘤信号变化评价肿瘤是否残余或局部进展并不适用于 RFA 治疗后早期。Zheng 等^[6]研究提出动态增强 CT 造影和 MRI 较单纯平扫用于评估肿瘤残余更具有价值,但本研究中肿瘤治疗区域增强扫描同样呈轻度强化,判断肿瘤有无残存同样较困难。

局部组织代谢变化往往发生于形态学改变之前。因此,功能性成像技术如 FDG-PET/CT 及 DWI-MRI 显像有望成为评估射频治疗后肿瘤代谢改变的非侵袭性方法。DWI 表现的是组织内部功能性变化,常规 MRI 检查则是反映组织形态学变化,因此在早期常规 MRI T1 及 T2 加权像尚无异常发现时,DWI 即可显示病变区域组织功能性变化。肿瘤组织细胞外液减少、细胞密集程度较高、细胞外液自由水扩散受限使得 ADC 值下降,在 DWI 加权像表现为较周围正常组织的高信号^[7];射频治疗后,肿瘤病灶凝固性坏死一方面使组织含水量减少,另一方面细胞死亡后包膜通透性增高,细胞内液体进入细胞外增多,使得 ADC 值增高,因此在 DWI 加权像治疗区域表现为信号减低区^[8]。上述水分子弥散机制和 DWI 成像,有助于了解射频治疗后肿瘤情况,并判断治疗区域有无残留肿瘤组织。本实验中肿瘤种植后均表现为 DWI 高信号,射频治疗后肿瘤病灶 DWI 信号减低,提示 DWI 成像对肿瘤射频治疗后肿瘤组织代谢变化有较高灵敏度。但 DWI 也存在一

定缺陷,表现在判断肿瘤的特异性较低,因为肿瘤治疗区域诸多因素均可影响水分子弥散状态,并影响 DWI 信号改变,主要表现为治疗后损伤区域水肿,可使该区域含水量增高,导致 DWI 增高;治疗后原肿瘤区域即使没有活性肿瘤细胞,但纤维增生性反应较明显,导致间质水分子弥散障碍,引起 ADC 值下降而 DWI 表现为高信号;高 T2 信号透过效应及不同 b 值选择可显示不同组织。上述这些因素均干扰 DWI 信号,从而影响射频治疗后瘤灶情况判断。

许多研究报道 ^{18}F -FDG-PET 在区分残余肿瘤和检测肿瘤复发方面具有高度敏感性和特异性^[9-10]。有研究证实, ^{18}F -FDG-PET/CT 显像动态观察发现兔 VX2 肺移植瘤三维适形放疗中肿瘤组织与正常肺组织的 SUV 比值在短期内显著降低,故可用于 CT 形态学改变前评估放疗早期疗效^[11]。本研究证实 VX2 肿瘤模型经 RFA 治疗 3 d 后 ^{18}F -FDG 摄取值明显下降,提示 ^{18}F -FDG-PET/CT 可用于评估早期阶段射频治疗效果。

射频治疗后有肿瘤残留灶时,治疗区域可出现局灶性 FDG 摄取异常增高,这对治疗后肿瘤残存的判断有较高特异性。但 ^{18}F -FDG 判断肿瘤残存也有一定的假阴性,表现为射频治疗后肿瘤残存区域 FDG 轻中度摄取,这主要是治疗后残存肿瘤细胞代谢活性降低(细胞功能下降而非细胞坏死)、残存肿瘤区域较小或肿瘤细胞沿间质浸润生长的缘故,与炎性反应性细胞改变难以区别。

功能成像 DWI-MRI 及 ^{18}F -FDG 有不同的显像优势,对肿瘤残存检测的灵敏性较高,但也存在影响因素较多、检测特异性较低的缺点。本实验研究显示,单独 DWI-MRI 或单独 FDG-PET/CT 检查的评估结果与组织病理学诊断结果的一致性 Kappa 值均较低,而 DWI-MRI 联合 PET/CT 检查明显提高评估结果的特异性与准确性,与组织病理学诊断结果的一致性 Kappa 值明显提高。DWI 出现高信号假阳性时,PET/CT 显像 ^{18}F -FDG 摄取程度、T1 和 T2 信号改变能校正假阳性结果,而 PET/CT 显像假阳性结果也可由 DWI 信号、T1 和 T2 信号改变予以纠正。因此,功能成像整合可明显降低评价方法的假阳性率,进一步提高肿瘤治疗后评估的准确率。Zheng 等^[12]研究也认为,联合应用 ^{18}F -FDG-PET/CT 和 DWI 功能成像-常规及增强 MRI,可更好地准确评估射频治疗术后早期肿瘤消融情况,以便对肿瘤复发高风险患者进行再次射频治疗干预;这对提高患者预后具有重要临床价值。

总之,射频治疗后早期阶段 DWI 成像及 ^{18}F -FDG 显像均已存在明显变化,ADC 值和 SUV 值可作为评估射频早期疗效的重要参数。DWI-MRI 联合 FDG-PET/CT 检查可弥补单一方式评估治疗区域肿瘤残存与否的不足与缺陷,明显提高诊断的准确性。

[参考文献]

- [1] Gillams AR. Image guided tumour ablation[J]. Cancer Imaging, 2005, 5: 103-109.
- [2] 王卫国, 吴春根, 程永德, 等. 射频消融术联合经皮椎体成形术治疗脊柱转移性肿瘤[J]. 介入放射学杂志, 2009, 18: 362-366.
- [3] 胡继红, 王会, 赵卫, 等. 射频消融联合椎体成形术治疗脊柱转移性肿瘤 12 例[J]. 介入放射学杂志, 2013, 22: 563-566.
- [4] Ho Y, Huang Y, Lin C, et al. Application of radiofrequency ablation of renal VX2 tumors by Cooled-Tip electrode in a rabbit model[J]. IEEE Trans Nanobioscience, 2009 [Epub ahead of print].
- [5] Liu Y, Lu L, Jin H. Radiofrequency ablation of liver VX2 tumor: experimental results with MR diffusion-weighted imaging at 3.0T[J]. PLoS One, 2014, 9: e104239.
- [6] Zheng SG, Xu HX, Guo LH, et al. The safety and treatment response of combination therapy of radioimmunotherapy and radiofrequency ablation for solid tumor: a study in vivo[J]. PLoS One, 2014, 9: e96539.
- [7] Yuan YH, Xiao EH, Xiang J, et al. MR diffusion-weighted imaging of rabbit liver VX-2 tumor[J]. World J Gastroenterol, 2005, 11: 3070-3074.
- [8] Li Y, Shi G, Wang S, et al. Iodine quantification with dual-energy CT: phantom study and preliminary experience with VX2 residual tumour in rabbits after radiofrequency ablation[J]. Br J Radiol, 2013, 86: 20130143.
- [9] Okuma T, Matsuoka T, Okamura T, et al. ^{18}F -FDG small-animal PET for monitoring the therapeutic effect of CT-guided radiofrequency ablation on implanted VX2 lung tumors in rabbits[J]. J Nucl Med, 2006, 47: 1351-1358.
- [10] Suzuki H, Sekine Y, Saito K, et al. Innovative technique of transbronchial radiofrequency ablation for intrapulmonary tumors: a preliminary study in a rabbit model[J]. J Bronchology Interv Pulmonol, 2011, 18: 211-217.
- [11] 汪会, 徐慧琴, 赵学峰, 等. ^{18}F -FDG PET/CT 评价兔 VX2 肺移植瘤三维适形放疗的早期疗效[J]. 安徽医药, 2012, 16: 1273-1275.
- [12] Zheng SG, Xu HX, Lu MD, et al. Radiofrequency ablation before intratumoral injection of (^{131}I) -chTNT improves the tumor-to-normal tissue ratio in solid VX2 tumor[J]. Cancer Biother Radiopharm, 2013, 28: 725-730.

(收稿日期:2014-12-08)

(本文编辑:边 信)