

ADC 直方图早期监测直结肠癌肝转移瘤化疗敏感性的价值

钱海峰 刘东 李章宇

【摘要】目的 探讨表观扩散系数(ADC)直方图早期监测直结肠癌肝转移瘤化疗敏感性的价值。**方法** 对 42 例直结肠癌肝转移瘤患者进行常规磁共振平扫、增强及 DWI 检查,分别测量化疗前、化疗第 1 周期后及化疗完成后靶病灶的最大径(LD)和 ADC 值,计算 LD 值早期变化率(Δ LD)及 ADC 值早期变化率(Δ ADC)。依据实体肿瘤疗效评价标准(RECIST)分为低敏感组和高敏感组,比较两组靶病灶化疗早期监测指标的差异,并以直方图显示 ADC 值变化。ROC 曲线分析 ADC 值早期预测转移瘤化疗的灵敏度。**结果** 共确诊 65 个肝转移瘤靶病灶,其中高敏感组 30 个和低敏感组 35 个。化疗前和化疗第 1 周期后,高敏感组与低敏感组的 LD 值和 Δ LD 值均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。化疗前高敏感组和低敏感组的 ADC 值分别为 $(1.303 \pm 0.062) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ 、 $(1.340 \pm 0.065) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$,化疗第 1 周期后分别为 $(1.394 \pm 0.079) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ 、 $(1.330 \pm 0.088) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$,高敏感组 ADC 值明显升高($P < 0.05$),而低敏感组无明显变化($P > 0.05$);高敏感组 Δ ADC 高于低敏感组,差异有统计学意义($P < 0.01$),直方图显示峰值明显右移。 Δ ADC 早期预测化疗疗效的灵敏度、特异度和 AUC 分别为 90.0%、77.14% 和 0.891。**结论** Δ ADC 可作为预测肝转移瘤对化疗敏感性的定量指标,ADC 直方图有助于直观显示化疗疗效变化。

【关键词】 磁共振 表观扩散系数 肝脏,转移瘤 化疗

ADC value in MR diffusion weighted imaging for monitoring early response in colorectal cancer patients with liver metastases undergoing chemotherapy QIAN Haifeng, LIU Dong, LI Zhangyu. Department of Radiology, Huzhou Central Hospital (Zhejiang University Huzhou Hospital), Huzhou 313000, China

【Abstract】Objective To investigate the value of apparent diffusion coefficient (ADC) histogram on 3.0 T MR diffusion weighted imaging (DWI) for monitoring the early chemotherapy response in colorectal cancer patients with liver metastases. **Methods** Forty two colorectal cancer patients with liver metastases receiving chemotherapy underwent MRI examination including plain and enhanced scan, and DWI. The longest diameter (LD) and ADC values were measured pre-chemotherapy, at the first chemotherapy cycle and post-chemotherapy. The target lesions were grouped into the hypersensitivity and hyposensitivity based on response evaluation criteria in solid tumors (RECIST) and the change of ADC histogram was demonstrated. The receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was performed for evaluation of the sensitivity, specificity and Az value. **Results** Sixty five target lesions were confirmed including 30 lesions in the hypersensitivity group and 35 lesions in the hyposensitivity group. The difference of the LD and Δ LD values were not significant between the hypersensitivity group and the hyposensitivity group pre-chemotherapy and at the first cycle chemotherapy. The ADC values of the hypersensitivity and hyposensitivity groups were $(1.303 \pm 0.062) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$, $(1.340 \pm 0.065) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ pre-chemotherapy, and $(1.394 \pm 0.079) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$, $(1.330 \pm 0.088) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ at the first cycle chemotherapy, respectively. The ADC value of the hypersensitivity group was significantly higher than that at first cycle ($P < 0.05$), but the ADC value of the hyposensitivity group was not significantly changed ($P > 0.05$). The ADC histogram showed the peak shifted significantly to the right. The Δ ADC value of the hypersensitivity group was higher than that of the hyposensitivity group at the first cycle ($P < 0.01$). ROC curve analysis showed the Az value of Δ ADC was the highest (Az=0.891), the sensitivity was 90% and specificity was 77.14% for early response assessment. **Conclusion** The Δ ADC value in DWI may be used as an indicator in predicting chemotherapy sensitivity, and the ADC histogram analysis is helpful for early response assessment of colorectal cancer patients with liver metastases undergoing

DOI: 10.12056/j.issn.1006-2785.2019.41.11.2017-2269

基金项目:浙江省医药卫生科技计划一般项目(2015KYB377)

作者单位:313000 湖州市中心医院(浙江大学湖州医院)放射科

通信作者:钱海峰,E-mail:qhf0572@163.com

chemotherapy.

【Key words】Magnetic resonance imaging Apparent diffusion coefficient Liver, metastatic tumor Chemotherapy

目前治疗直肠癌肝转移瘤主要是以全身化疗为主,而全身化疗仅对部分患者有效。依据实体肿瘤疗效评价标准(response evaluation criteria in solid tumors, RECIST),通过 CT 和常规 MRI 测量肿瘤最大径(longest diameter, LD)或体积大小来评估肝转移瘤化疗疗效,无法早期监测患者肿瘤对化疗药物的反应即化疗敏感性^[1-2]。磁共振扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)通过表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)定量研究组织内水分子运动状态,可以早期反映病变组织的结构特点和活体微环境的信息变化^[3-6]。本研究旨在探讨 3.0T 磁共振 DWI 和 ADC 值在早期监测肝转移瘤化疗疗效及其敏感性的价值,为临床实施个体化化疗方案提供理论依据,现报道如下。

1 资料和方法

1.1 一般资料 收集 2015 年 7 月至 2017 年 6 月在本院临床诊断为直肠癌肝转移瘤拟化疗行磁共振检查的患者 42 例,其中男 23 例,女 19 例,年龄 38~74 (55.8±10.2)岁;所有患者均经手术病理证实为直肠癌,原发肿瘤病理类型均为腺癌,原发肿瘤部位包括:升结肠 7 例,横结肠 2 例,降结肠 8 例,乙状结肠 12 例,直肠 13 例;肿瘤 T 分期:T2 期 6 例,T3 期 19 例,T4 期 17 例;穿刺病理证实 34 例,51 个病灶;随访证实 8 例,14 个病灶。纳入标准:原发肿瘤为直肠癌,经穿刺病理或临床术后超声、CT 或 MRI 资料随访证实为肝转移瘤;转移瘤靶病灶最大径>1cm。化疗方案:FOLFOX4 方案(奥沙利铂、亚叶酸钙、5-氟尿嘧啶),14d 后重复治疗,共 6 个疗程。所有患者均在化疗前 1 周内和化疗第 1 周期结束后、化疗结束后 1 周内进行 MRI 检查,检查前均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 检查方法 采用美国 GE 公司 Discovery MR 750 3.0T 超导型 MRI 仪,以 32 通道体部专用线圈进行扫描。扫描方位及序列包括:(1)SE T₁WI 横断位:TR 500ms、TE 20ms,矩阵 256×256,采集次数(NEX)=2;(2)FSE T₂WI 横断位及冠状位:TR 3 500ms、TE 90ms,矩阵 256×256,NEX=2,回波链长度为 12;(3)EPI-DWI:TR 7500ms、TE 60ms,矩阵 256×256,FOV=40cm×36cm,EPI 因子 4,b 值=700s/mm²,层厚 4.0mm,层间距系统默认最小值,SPIR 压脂;(4)三维肝脏容积加速采集(3D liver

acquisition with volume acceleration, LAVA)平扫和增强扫描:TR 4.2ms、TE 1.6ms, TI 7ms, 翻转角 10°, NEX=1, 层厚 5.0mm,层间距 0.0mm,矩阵 512×512,FOV=40cm×36cm。对比剂采用钆喷酸普胺注射液(拜耳先灵药业有限公司生产),剂量按 0.1mmol/kg 注射。

1.2.2 影像分析 数据存储在 GE ADW4.6 图像后处理工作站,利用 Functool(GE Healthcare)软件测量靶病灶的最大径(LD)值和 ADC 值。测量 LD 值时,在 3D LA-VA 增强扫描上选取靶病灶,测量靶病灶最大径层面,重复测量 2 次取平均值。化疗前、化疗 1 周期后、化疗结束后的 LD 值分别记录为 LD₀、LD₁ 和 LD₂,并计算 LD 值早期变化率(ΔLD), $\Delta LD = (LD_1 - LD_0) / LD_0 \times 100\%$ 。测量 ADC 值时,感兴趣区域(region of interest, ROI)选择在相同靶病灶最大层面,手动勾画的 ROI 尽量包括整个病灶,避开病灶内坏死、囊变部分、正常血管及磁敏感伪影干扰。重复勾画 ROI 2 次,取测量结果的平均值,以降低因手动勾画 ROI 造成的遗漏和噪声误差。化疗前、化疗 1 周期后、化疗结束后的 ADC 值分别记录为 ADC₀、ADC₁ 和 ADC₂,并计算 ADC 值早期变化率(ΔADC), $\Delta ADC = (ADC_1 - ADC_0) / ADC_0 \times 100\%$ 。所有测量均由 2 位高年资放射科医师完成,意见不一致时经协商达成统一意见。

1.2.3 疗效评价 参照 2009 年 WHO 公布的 RECIST 1.1 标准^[7]进行总体疗效评价,包括:(1)完全缓解(complete response, CR):所有靶病灶消失,无新病灶出现;(2)部分缓解(partial response, PR):靶病灶最大径之和减少≥30%;(3)疾病进展(progressive disease, PD):靶病灶最大径之和至少增加≥20%,或出现新病灶;(4)疾病稳定(stable disease, SD):靶病灶最大径之和缩小未达到 PR,或增加未达到 PD。分组标准:结合 RECIST 标准和临床肿瘤标志物实验室检查结果分为高敏感组和低敏感组。高敏感组需同时满足下列 2 个条件:(1)靶病灶为 CR 或 PR;(2)疗效确认:肿瘤标志物为阴性,4 周后复查结果仍为阴性。低敏感组满足下列条件之一:(1)靶病灶为 PD;(2)靶病灶为 SD,疗效确认:肿瘤标志物阳性或 6 周后复查进行性增高。

1.3 统计学处理 采用 MedCalc v 12.7.0 统计软件,正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 *t* 检验;采用 ROC 曲线评价有统计学差异指标鉴别低敏感组与高敏感组的灵敏度、特异度和 AUC;采用多因素

logistic 回归分析相关临床因素预测肝转移瘤化疗的灵敏度。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组靶病灶最大径监测指标的变化 见表 1。42 例直肠癌患者共确诊 65 个肝转移瘤靶病灶, 按照 RECIST 1.1 标准, 纳入高敏感组 30 个(均为 PR, 无 CR), 低敏感组 35 个(PD19 个, SD16 个)。

表 1 两组靶病灶最大径监测指标的变化

分组	n	LD ₀ (cm)	LD ₁ (cm)	LD ₂ (cm)	ΔLD(%)
高敏感组	30	2.493 ± 0.798	2.480 ± 0.816	1.460 ± 0.512*	-0.635 ± 0.092
低敏感组	35	2.760 ± 0.979	2.863 ± 0.933	3.511 ± 1.035*	5.967 ± 0.189
t 值		1.190	1.747	9.863	1.744
P 值		0.238	0.086	0.000	0.086

注: 与 LD₀ 比较, * $P < 0.01$

由表 1 可见, 与化疗前相比, 高敏感组和低敏感组靶病灶在化疗第 1 周期后 LD 值和 ΔLD 无明显变化, 组间比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$), 化疗完成后高敏感组靶病灶 LD 值明显缩小, 而低敏感组则增大, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.01$)。

2.2 两组 ADC 值监测指标的变化 见表 2。

表 2 两组 ADC 值监测指标的比较

分组	n	ADC ₀ ($\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$)	ADC ₁ ($\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$)	ADC ₂ ($\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$)	ΔADC (%)
高敏感组	30	1.303 ± 0.062	1.394 ± 0.079*	1.514 ± 0.084*	7.109 ± 0.946
低敏感组	35	1.340 ± 0.065	1.330 ± 0.088	1.336 ± 0.084	-0.662 ± 0.946
t 值		2.355	3.075	8.511	5.662
P 值		0.022	0.003	0.000	0.000

注: 与 ADC₀ 比较, * $P < 0.05$

由表 2 可见, 与化疗前相比, 高敏感组靶病灶在化疗第 1 周期后、化疗完成后 ADC 值明显升高, 差异均有统计学意义($t=7.557, 13.451$, 均 $P < 0.01$)。而低敏感组靶病灶在化疗第 1 周期后、化疗完成后 ADC 值无明显变化, 差异均无统计学意义($t=0.747, 0.364$, 均 $P > 0.05$)。两组比较, ADC₀、ADC₁、ADC₂ 和 ΔADC 差异均有统计学意义($P < 0.05$ 或 0.01)。

2.3 两组 ADC 直方图早期监测指标的变化及 ROC 曲线分析结果 见图 1-5。

由图 1-5 可见, 与化疗前 ADC 直方图比较, 化疗第 1 周期后高敏感组靶病灶的 ADC 直方图峰值出现右移, 而低敏感组 ADC 直方图峰值无明显移位。早期监测指标中, ADC₁ 和 ΔADC 组间差异有统计学意义, ROC 曲线比较两者对早期预测靶病灶化疗敏感程度的诊断

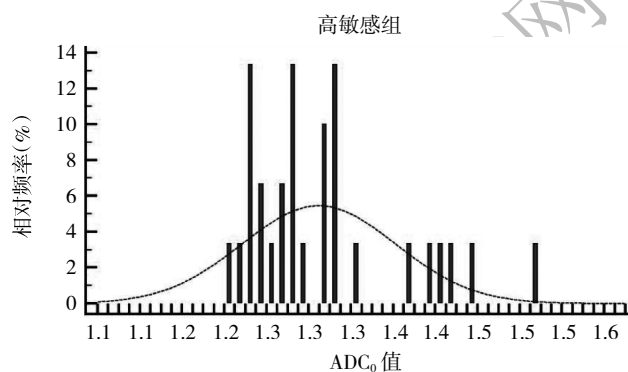


图 1 高敏感组化疗前 ADC 直方图

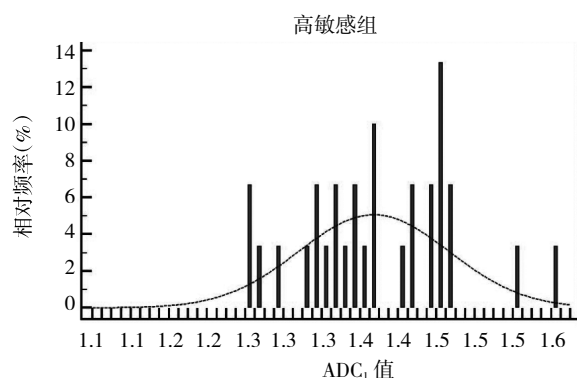


图 2 高敏感组化疗第 1 周期后 ADC 直方图

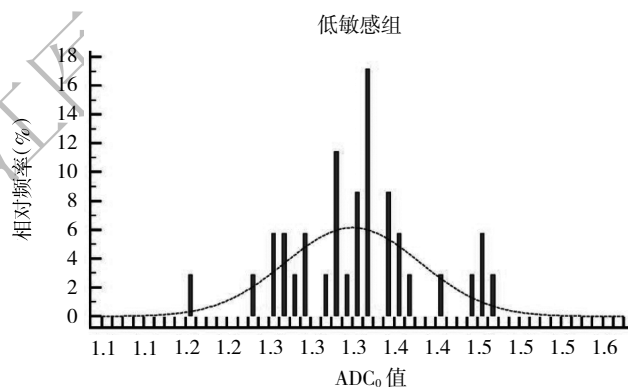


图 3 低敏感组化疗前 ADC 直方图

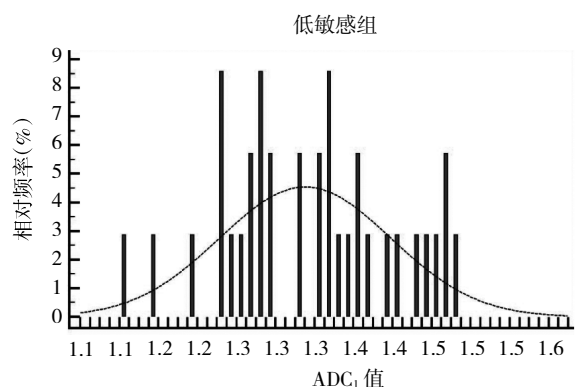


图 4 低敏感组化疗第 1 周期后 ADC 直方图

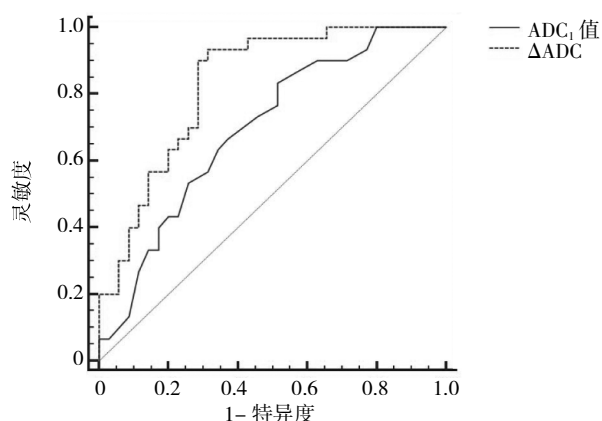


图 5 早期预测肝转移瘤化疗灵敏度的 ROC 曲线

价值,结果显示 ADC_1 和 ΔADC 对监测化疗灵敏度的 AUC、最佳阈值、灵敏度、特异度分别为 0.770、 $1.35 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ 、83.33%、62.86% 和 0.891、5.26%、90.0%、77.1%。 ΔADC 的 AUC 明显高于 ADC_1 , 差异有统计学意义 ($Z=2.281$, $P<0.05$)。

3 讨论

近年来, MRI 功能成像被逐渐应用于监测肿瘤放化疗疗效的灵敏度, 其中 DWI 能够通过组织内水分子的随机扩散运动来反应组织细胞结构、细胞外间隙大小以及细胞膜的完整性等信息。肿瘤组织内细胞排列致密, 细胞外间隙减小, 同时细胞膜完整, 使水分子的扩散速度降低, DWI 图像信号增高, ADC 值降低^[8]; 而化疗药物使肿瘤细胞膜被破坏, 引起细胞损伤、凋亡, 单位体积内细胞密度减低, 细胞外间隙增宽, 使水分子扩散能力增强, ADC 值升高^[9], 因此多数研究认为 DWI 及其 ADC 值能够鉴别肿瘤靶病灶对化疗药物是否敏感^[8-10]。但文献报道关于化疗前的平均 ADC 值在鉴别是否化疗有效方面存在争议^[11-13]。本研究中, 高敏感组在化疗前的平均 ADC 值低于低敏感组, 差异有统计学意义, 这与 Heo 等^[11]报道一致, 这是因为肿瘤血供丰富时, 表现为 ADC 值更低, 化疗药物可以更加有效地经过肿瘤的新生血管进入瘤体内部对其进行杀伤^[12-13]。但张玉杰等^[14]应用 3.0T 磁共振监测 52 例肝转移瘤化疗疗效的研究认为有效组和无效组化疗前的 ADC 值无明显差异, 推测可能与该组病例来源于乳腺癌、肺癌、胃肠道肿瘤等不同部位, ADC 值被高估或低估, 测量时间点不同等有关。

在本研究中, 在化疗 1 周期后靶病灶的最大径未出现明显变化时, 此时靶病灶的 ADC 值明显高于化疗前, 而低敏感组 ADC_1 值变化不大, 同时在直方图上可以直

观地显示高敏感组 ADC 值峰值右移, 低敏感组 ADC 值峰值无明显变化, 说明靶病灶 ADC 值的变化早于肿瘤形态学(最大径)的改变, 更敏感地反应肿瘤化疗早期的内部变化, 而且直方图可以直观、全面反应肿瘤内部变化信息^[3,15]。Cui 等^[10]对肝转移瘤疗效评估也得到类似结果, 有效组的 ADC 值在化疗后会升高, 而无效组化疗前后无明显改变, 但该研究没有采用 ΔADC 减少不同个体 ADC 值的差异。为减少个体靶病灶基线 ADC 值差异的误差, 本研究结果显示高敏感组和低敏感组 ΔADC 组间有统计学差异, 提示 ΔADC 可以更加个体化早期预测肿瘤的远期化疗疗效。

另外, ROC 曲线分析显示 ADC_1 值和 ΔADC 早期预测化疗灵敏度均具有更高的诊断效能和可信度, 但相比以往取 ADC 值绝对值为阈值, 会受限于各家单位不同机器型号差异、b 值选择不同等因素, ADC 值取最佳阈值范围差距较大, 而以 ADC 值变化率作为监测指标在鼻咽癌、肺癌、食管癌、乳腺癌等已有报道^[1-5]。本研究中化疗第 1 周期后取 ΔADC 上升 5.26% 为阈值, AUC 为 0.891, 灵敏度为 90.0%, 特异度为 77.1%, 比化疗第 1 周期后取 ADC_1 值具有更高的灵敏度和特异度, 提示 ΔADC 对早期预测靶病灶化疗敏感性的诊断价值更高。张玉杰等^[14]报道以化疗 2 个疗程后测量 ADC 值变化率升高 19.59% 为阈值也得到相似结果, 早期预测化疗有效的灵敏度 79.2%, 特异度 78.9%, AUC 0.844, 说明在化疗 1~2 周期后监测 ADC 值变化率也具有作为预测化疗疗效指标的潜能。

本研究也存在一些局限性。首先, 本研究的样本量偏少, 且原发肿瘤来源于直肠癌, 未纳入同时期其他肿瘤的肝转移瘤的疗效评价; 第二, 部分肝转移瘤病例是临床随访证实的, 对统计结果可能存在偏倚, 未来需进一步收集病例, 还需对照病理结果分析 ADC 值。另外, 对化疗后不同时间点 ADC 值变化率的预测评估还需大样本来证实。

综上所述, MRI 扩散加权的 ADC 值可作为早期预测直肠癌患者肝转移瘤化疗敏感性的观察指标, 而 ADC 直方图能够直观、简洁地反映早期化疗效果, 可在临床中推广应用。

4 参考文献

- [1] Chen Y, Liu X, Zheng D, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for early response assessment of chemoradiotherapy in patients with nasopharyngeal carcinoma[J]. Magn Reson Imaging, 2014,32(6):630-637.DOI:10.1016/j.mri.2014.02.009.

(下转第 1172 页)

- ctasia: A retrospective study[J]. *Int J Surg*, 2017, 41: 183–189. DOI: 10.1016/j.ijisu.2017.04.015.
- [10] 郑筱萸. 中药新药临床研究指导原则[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2002: 116.
- [11] 魏巍, 马居飞, 李若葆. 中医中药与西药卡马西平治疗原发性三叉神经痛的系统评价[J]. *中医药导报*, 2015, 21(7): 80–86.
- [12] Ajura AJ, Lau SH, Nur Suffia S. An observational study of trigeminal neuralgia patients taking carbamazepine during the fasting month of Ramadan[J]. *Med J Malaysia*, 2016, 71(6): 305–307.
- [13] Poletti-Jabbour J, Wiegering-Rospigliosi A, Pereyra-Elías R, et al. Carbamazepine and oxcarbazepine: reflections after an oxcarbazepine-induced Stevens–Johnson syndrome/toxic epidermal necrolysis overlap[J]. *Eur J Clin Pharmacol*, 2016, 72(8): 1031–1032. DOI: 10.1007/s00228-016-2066-5.
- [14] Jia J, Shi X, Jing X, et al. BCL6 mediates the effects of Gastrodin on promoting M2-like macrophage polarization and protecting against oxidative stress-induced apoptosis and cell death in macrophages[J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2017, 486(2): 458–464. DOI: 10.1016/j.bbrc.2017.03.062.
- [15] 赵敏, 李育, 田学辉, 等. 巴氯芬联合卡马西平治疗原发性三叉神经痛临床研究[J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2016, 19(15): 88–90. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5110.2016.15.050.
- [16] 杨艳丽. 加巴喷丁、卡马西平治疗复发性三叉神经痛的疗效对比观察[J]. *转化医学电子杂志*, 2015, 2(7): 13–16.
- [17] 王联德. 镇脑宁联合卡马西平治疗原发性三叉神经痛的疗效分析[J]. *中医临床研究*, 2016, 8(19): 74–75. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7860.2016.19.030.
- [18] 杨汀, 樊光辉. 天麻素治疗神经系统疾病机制研究进展[J]. *华南国防医学杂志*, 2013, 27(2): 131–132. DOI: 10.3969/j.issn.1009-2595.2013.02.020.
- [19] 张媛元, 毛瑞阳, 杜晓红, 等. 天麻素对终末糖基化产物诱导神经胶质细胞炎症因子表达的影响[J]. *中草药*, 2011, 42(2): 330–334.
- [20] 崔宁莉. 天麻素胶囊治疗三叉神经痛的临床研究[J]. *航空航天医学杂志*, 2015, 26(5): 569–570. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1434.2015.05.027.

(收稿日期: 2017-08-25)

(本文编辑: 杨丽)

(上接第 1161 页)

- [2] 于红梅, 翟昭华, 顾明, 等. 3.0T MR DWI 预测鼻咽癌放疗敏感性的研究[J]. *国际医学放射学杂志*, 2016, 39(1): 1–5. DOI: 10.3874/j.issn.1674-1897.2016.01.L3321.
- [3] 蒋洁智, 李鹏, 封俊, 等. ADC 直方图评估肺癌化疗早期疗效的应用初探[J]. *影像诊断与介入放射学*, 2016, 25(1): 13–16. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8001.2016.01.003.
- [4] 王亚婷, 朱艳, 郭莉莉, 等. 磁共振扩散加权成像在预测乳腺癌肝转移早期疗效中的作用[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2017, 28(3): 180–183.
- [5] Mainenti PP, Romano F, Pizzuti L, et al. Non-invasive diagnostic imaging of colorectal liver metastases[J]. *World J Radiol*, 2015, 7(7): 157–169. DOI: 10.4329/wjr.v7.i7.157.
- [6] 马向征, 王世威, 许茂盛, 等. DCE-MRI 联合 DWI 定量分析在前列腺癌诊断中的应用价值[J]. *浙江医学*, 2017, 39(1): 7–11.
- [7] Eisenhauer EA, Therasse P, Bogaerts J, et al. New response evaluation criteria in solid tumors: revised RECIST guideline (version 1.1)[J]. *Eur J Cancer*, 2009, 45(2): 228–247. DOI: 10.1016/S1359-6349(08)71964-5.
- [8] Granata V, Fusco R, Catalano O, et al. Early assessment of colorectal cancer patients with liver metastases treated with antiangiogenic drugs: the role of intravoxel incoherent motion in diffusion-weighted imaging[J]. *PLoS ONE*, 2015, 10(11): e0142876. DOI: 10.1371/journal.pone.0142876.
- [9] Matsushima S, Sato T, Nishiofuku H, et al. Equivalent cross-relaxation rate imaging and diffusion weighted imaging for early prediction of response to bevacizumab-containing treatment in colorectal liver metastases—preliminary study[J]. *Clin Imaging*, 2017, 41(1): 1–6. DOI: 10.1016/j.clinimag.2016.08.013.
- [10] Cui Y, Zhang XP, Sun YS, et al. Apparent diffusion coefficient: potential imaging biomarker for prediction and early detection of response to chemotherapy in hepatic metastases[J]. *Radiology*, 2008, 248(3): 894–900.
- [11] Heo SH, Shin SS, Kim JW, et al. Pre-treatment diffusion weighted MR imaging for predicting tumor recurrence in uterine cervical cancer treated with concurrent chemoradiation: value of histogram analysis of apparent diffusion coefficients[J]. *Korean J Radiol*, 2013, 14(4): 616–625. DOI: 10.3348/kjr.2013.14.4.616.
- [12] 许永华, 徐敬慈, 杨利霞, 等. 应用 MRI 弥散成像表现弥散系数监测肝转移瘤化疗疗效研究[J]. *实用肝脏病杂志*, 2012, 15(5): 421–423. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5069.2012.05.0016.
- [13] Kim HS, Kim CK, Park BK, et al. Evaluation of therapeutic response to concurrent chemoradiotherapy in patients with cervical cancer using diffusion-weighted MR imaging[J]. *Magn Reson Imaging*, 2013, 37(1): 187–193. DOI: 10.1002/jmri.23804.
- [14] 张玉杰, 陶广林, 刘洋, 等. 3.0T MR 表现系数结合动态增强早期预测肝转移瘤化疗疗效价值[J]. *临床放射学杂志*, 2014, 33(12): 1860–1863.
- [15] 高振华, 孙美丽, 刘大伟, 等. ADC 直方图评估骨肉瘤新辅助化疗疗效的应用初探[J]. *影像诊断与介入放射学*, 2014, 23(4): 293–296. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8001.2014.04.003.

(收稿日期: 2017-12-17)

(本文编辑: 马雯娜)