

直肠癌 3.0T 磁共振扩散加权成像中 b 值的选择

王余, 马梦华, 徐晋珩, 王海平, 韩德昌, 才艳玲

【摘要】 目的:选择直肠癌 3.0T 磁共振扩散加权成像(DWI)的合适 b 值,以利于 DWI 对直肠癌病灶的检出。**方法:**对 63 例直肠癌患者行多 b 值 DWI 检查(b 值为 300、600、900、1200、1500、1800、2100 s/mm²)及常规 MRI 平扫(T₂WI、T₁WI)。测量不同 b 值时直肠癌的 ADC 值;计算直肠癌的信噪比(SNR)及膀胱的信号强度比(SIR);根据 HE 染色病理图片记录直肠癌的细胞密度,并进行统计学分析。**结果:**随着 b 值的增大,直肠癌 ADC 值及 SNR 呈逐渐降低趋势,差异有统计学意义(P<0.05)。当 b 值≤1200 s/mm² 时,DWI 图像中直肠癌 SNR 均高于 T₂WI 图像(P<0.05)。各不同 b 值的 DWI 图像中膀胱 SIR 均低于 T₂WI 图像(P<0.05),随着 b 值的增大膀胱 SIR 逐渐减低,当 b 值≥1200 s/mm² 时,膀胱 SIR 明显减低接近于 1。不同 b 值时直肠癌 ADC 值与细胞密度之间均呈负相关(P<0.05),b=1200 s/mm² 时,其相关度最高(r=-0.76,P<0.05)。**结论:**直肠癌 3.0T 磁共振扩散加权成像中的合适 b 值应为 1200 s/mm²。

【关键词】 直肠肿瘤; 扩散加权成像; 磁共振成像; b 值

【中图分类号】 R735.3; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)09-0874-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.09.018

Selection of b value on diffusion weighted imaging in rectal cancer patients using a 3.0T MR scanner WANG Yu, MA Meng-hua, XU Jin-heng, et al. Department of MRI, Tangshan Gongren Hospital, Tangshan, Hebei 063000, China

【Abstract】 Objective: To select an appropriate b value on diffusion weighted imaging (DWI) in rectal cancer patients using a 3.0T MR scanner, in order to facilitate the detection of rectal cancer foci. **Methods:** Sixty-three patients with rectal cancer underwent multi b-value DWI (b value = 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100s/mm²) and routine MR scanning (T₂WI, T₁WI). The ADC values of rectal cancer at different b values were measured, and the signal noise ratio (SNR) of rectal cancer and signal-intensity ratio (SIR) of bladder were calculated. The cell density of rectal cancer was recorded according to hematoxylin and eosin (HE) staining. **Results:** The ADC value and SNR of rectal cancer decreased gradually with the increasing of b value, with significant statistic difference (P<0.05). The SNR of rectal cancer on DWI was higher than that on T₂WI when b value was ≤1200s/mm². The SIR of bladder on DWI with different b values was lower than that on T₂WI (P<0.05). The SIR of bladder decreased gradually with the increasing of b value, The SIR was markedly reduced and close to 1 when b value was ≥1200s/mm² (P<0.05). The ADC values with different b values had negative correlation with the cell density of rectal cancer (P<0.05, when b value was equal to 1200s/mm², the correlation was the highest (r=-0.76, P<0.05). **Conclusion:** Using a 3.0T magnetic resonance scanner for the examination of rectal cancer, the appropriate b value is 1200s/mm² on DWI.

【Key words】 Rectal neoplasms; Diffusion weighted imaging; Magnetic resonance imaging; b value

直肠癌是胃肠道常见的恶性肿瘤之一,发病率仅次于胃癌和食道癌。磁共振扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)作为一种无创性磁共振功能成像方法,它能反映活体内水分子的扩散能力和运动方向。随着磁共振设备场强的提高和高分辨力相控阵线圈的开发, DWI 在直肠癌的应用日益增多^[1-3]。扩散敏感系数(b 值)是 DWI 序列检测扩散运动能力的重要指标, b 值越高对水分子扩散运动越敏感,但同时图像信噪比会降低,因此 b 值的选择至关重要。本研究旨在选择 3.0 T 磁共振扩散加权成像诊断直肠癌的合适 b 值。

材料与方 法

1. 病例资料

搜集术前未接受放化疗、经肠镜活检证实为直肠癌且行 MRI 检查的患者,选择肿瘤厚度≥1 cm 并被 DWI 检出,术后经病理证实的直肠癌患者 63 例,其中男 30 例,女 33 例,年龄 20~79 岁,平均 58.6 岁。临床主要症状为大便带血。63 例患者 MRI 各序列资料完整,图像质量满足诊断要求。

2. 检查方法

MRI 检查采用 3.0T Philips Achieva 超导型磁共振成像系统,所有患者均行常规 T₂WI、T₁WI 平扫、DWI 扫描,具体扫描参数如下:①多次激发快速自旋回波序列(TSE)T₂WI 轴面扫描,TR 2000~5000 ms,

作者单位:063000 河北,唐山市工人医院磁共振室(王余、马梦华、王海平、韩德昌、才艳玲),病理科(徐晋珩)
作者简介:王余(1977—),男,河北唐山人,硕士,副主任医师,主要从事 MRI 诊断工作。

TE 110 ms, 视野 180 mm×180 mm, 体素 0.8 mm×0.9 mm, 层厚 4 mm, 层间距 0.5 mm, 回波链长度 17, 翻转角 90°, 信号采集数 2, 层数 24; ②多次激发快速自旋回波序列(TSE)T₁WI 轴面平扫, TR 400~600 ms, TE 8 ms, 视野 180 mm×180 mm, 体素 0.8 mm×0.9 mm, 层厚 4 mm, 层间距 0.5 mm, 回波链长度 4, 翻转角 90°, 信号采集数 3, 层数 24; ③DWI 采用自由呼吸单次激发 SE-EPI 序列, b 值选择 300、600、900、1200、1500、1800 和 2100 s/mm², TR 2000~2500 ms, TE ms/shortest, 视野 261 mm×180 mm, 体素 2.25 mm×2.25 mm, 层厚 4 mm, 层间距 0.5 mm, 半采集因子 0.627, 回波链长度 49, 翻转角 90°, 信号采集数 4, 层数 24, 抑脂方式为频谱空间预置饱和翻转回复(spectral presaturation with inversion recovery, SPIR)。

3. 图像分析

感兴趣区(region of interest, ROI)的选择: 参考常规 T₂WI、T₁WI 和 DWI 图像, 于 3 个连续层面分别各设置一个 ROI(ROI 尽量大, 各层面大小尽量保持一致)进行测量, 避开血管、坏死区域及伪影, 取其平均值作为最终测量值。

分别测量肿瘤、膀胱内尿液、背景区域内噪声各感兴趣区内的 DWI 和 T₂WI 图像信号强度。计算 T₂WI 图像中肿瘤的信噪比(signal to noise, SNR)及膀胱的信号强度比(signal intensity ratio, SIR)、不同 b 值的 DWI 图像中肿瘤的 SNR 及膀胱的 SIR。SNR 计算公式: $SNR_{组织} = S_{组织} / SD_{噪声}$ ($S_{组织}$ 为所测组织器官的信号强度, $SD_{噪声}$ 为相应层面背景噪声信号强度的标准差); SIR 计算公式: $SIR_{组织} = S_{组织} / S_{噪声}$ ($S_{组织}$ 为所测组织器官的信号强度, $S_{噪声}$ 为相应层面背景噪声信号强度)。根据系统自行生成的表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)图分别得出不同 b 值的肿瘤 ADC 值。

4. 细胞密度分析

常规 HE 染色病理切片, 使用 CMIAS 多功能真彩色病理图像分析系统, 计算 200 倍镜下每个采集野内肿瘤细胞核总面积与统计场面积之比, 以此作为肿瘤细胞密度, 每份标本任意选取 5 个视野, 取其平均值作为最终测量值(用百分比表示)。

5. 统计学分析

采用 SPSS 17.0 软件包进行统计学分析。计量资料以均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。对不同 b 值时 DWI 图像中直肠癌的 ADC 值、SNR、膀胱 SIR 及 T₂WI 图像中肿瘤的 SNR、膀胱的 SIR 的差异进行统计处理, 方差不齐时采用多个独立样本的 Kruskal-Wallis 秩和检验。对不同 b 值时直肠癌的 ADC 值与

细胞密度是否存在相关性, 采用双变量 Pearson 相关分析进行检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

63 例直肠癌均经手术及病理组织学证实, 其中高分化腺癌 17 例, 中分化腺癌 36 例, 低分化腺癌(图 1a)10 例。直肠癌在 DWI 图像中呈高或稍高信号(图 1b~h), 在 ADC 图中呈低或略低信号。

随着 b 值的增大, 直肠癌 SNR 呈逐渐降低趋势, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。当 b 值 ≤ 1200 s/mm² 时, DWI 图像中直肠癌 SNR 均高于 T₂WI 图像(图 1i) ($P < 0.05$)。各不同 b 值的 DWI 图像中膀胱 SIR 均低于 T₂WI 图像($P < 0.05$), 随着 b 值的增大膀胱 SIR 逐渐减低, 当 b 值 ≥ 1200 s/mm² 时, 膀胱 SIR 明显减低接近于 1(表 1)。

表 1 不同 b 值时 DWI 及 T₂WI 图像上直肠癌 SNR 及膀胱 SIR

b 值(s/mm ²) 及 T ₂ WI	SNR	SIR
300	148.45±24.79	7.60±2.48
600	126.49±25.61	4.41±1.22
900	101.06±19.64	2.80±0.63
1200	90.84±15.63	1.13±0.50
1500	72.38±10.66	1.07±0.37
1800	56.61±11.96	1.03±0.28
2100	43.15±13.04	1.01±0.27
T ₂ WI	82.62±20.44	21.73±12.64

注: 除 b 值=1200、1500、1800、2100 s/mm² 的 SIR 组间比较差异无统计学意义外, 其余不同 b 值及 T₂WI 组间两两比较 SNR、SIR, P 值均 < 0.05 。

随着 b 值的增大, 直肠癌 ADC 值逐渐下降, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。采用双变量相关分析, 不同 b 值时直肠癌 ADC 值与细胞密度之间均呈负相关($P < 0.05$), b 值=1200 s/mm² 时, 其相关性最高($r = -0.76, P < 0.05$, 表 2)。

表 2 不同 b 值时直肠癌 ADC 值与细胞密度的相关性

b 值 (s/mm ²)	ADC 值 ($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	细胞密度 (%)	r 值	P 值
300	1.59±0.33	17.74±5.05	-0.41	<0.01
600	1.41±0.25	17.74±5.05	-0.58	<0.01
900	1.27±0.23	17.74±5.05	-0.60	<0.01
1200	1.20±0.20	17.74±5.05	-0.76	<0.01
1500	1.15±0.21	17.74±5.05	-0.71	<0.01
1800	0.91±0.22	17.74±5.05	-0.63	<0.01
2100	0.77±0.15	17.74±5.05	-0.59	<0.01

讨论

DWI 是在细胞水平定量分析活体组织内水分子运动的技术, 能提供病理变化的信息, 已广泛应用于直肠癌的检出、定性、术前分期以及放化疗效果的评价^[4,5]。DWI 的信号强度不仅与组织的 ADC 有关, 而且还受 T₂ 穿透效应的影响。为了消除 T₂ 穿透效应

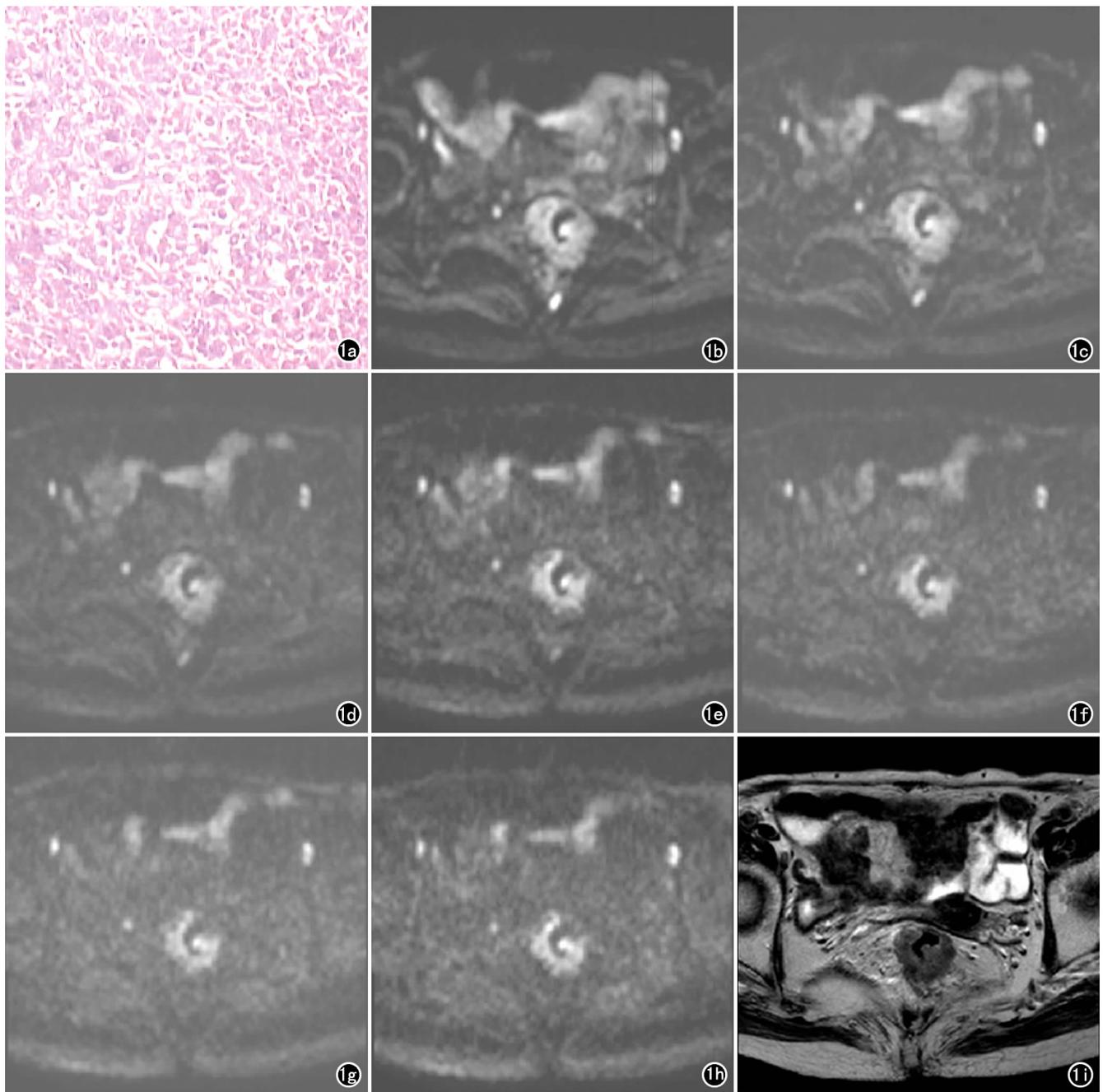


图1 直肠癌。a) 病理图示低分化腺癌($\times 200$, HE); b) b值为 300 s/mm^2 的 DWI 图像; c) b值为 600 s/mm^2 的 DWI 图像; d) b值为 900 s/mm^2 的 DWI 图像; e) b值为 1200 s/mm^2 的 DWI 图像; f) b值为 1500 s/mm^2 的 DWI 图像; g) b值为 1800 s/mm^2 的 DWI 图像; h) b值为 2100 s/mm^2 的 DWI 图像; i) T_2 WI 示病变呈稍高信号。

对 DWI 的影响,需依靠 ADC 图像及测量 ADC 值^[6]。各学者所测得的直肠癌的 ADC 值不尽相同,这与所采用的磁共振场强、扫描序列及成像参数不同有关,尤其与所采用的扩散敏感系数(b 值)不同关系密切,因此 b 值的选择尤为重要。

当 b 值越低时, DWI 及 ADC 值受血流灌注影响越大; b 值越高时,对水分子扩散运动越敏感,但 DWI 图像的信噪比越差^[7,8]。b 值的选择应该满足以下条件:能清楚分辨和显示被检组织,尽量消除 T_2 穿透效应对 DWI 图像的影响,有效去除血流灌注,使 ADC

值更能反映水分子扩散的真实情况。因此,本研究采用肿瘤 SNR、膀胱 SIR、ADC 值与肿瘤细胞密度的相关性等参数,从图像质量和反映水分子扩散两方面讨论 b 值的选择。

本研究结果显示,随着 b 值的增大,直肠癌的 ADC 值逐渐减低,这可能与血流灌注等影响因素有关,与文献报道一致。b 值越小,ADC 值越大,证实直肠癌扩散加权成像中其 ADC 值同样受血流灌注的影响;反之, b 值越大,ADC 值越小,越能反映水分子扩散的真实情况。从这个角度考虑应尽量采用高的 b

值,然而,DWI图像上直肠癌的SNR随着b值的增大而下降。当b值 ≥ 1500 s/mm²时,DWI图像上肿瘤的SNR低于T₂WI。SNR是临床评价图像质量的常用指标,如果SNR明显下降,肿瘤将无法清楚显示,这又限制了高b值的应用,从这方面考虑b值应该 < 1500 s/mm²。

DWI图像的信号强度不仅与组织扩散特性有关,而且受T₂穿透效应影响^[9]。除了ADC图像及测量ADC值能去除T₂穿透效应,高b值DWI是否也可以降低T₂穿透效应的影响,使DWI图像信号强度更能反映组织扩散特性?本研究对不同b值DWI图像上膀胱内尿液与背景信号强度比值(SIR)进行测量并进行统计学分析,发现当b值 ≥ 1200 s/mm²时各组SIR明显降低,各组间差异无统计学意义($P > 0.05$)。膀胱内尿液接近于自由水,其在DWI上的信号强度主要来自T₂信号。当b值 ≥ 1200 s/mm²时膀胱内尿液信号强度明显减低,接近背景信号强度,此时可以认为自由水得到抑制,T₂穿透效应基本上被消除,DWI图像主要反映组织的扩散特性。

虽然影响肿瘤组织ADC值的因素较多,如肿瘤细胞密度、富血管度、细胞外液的粘度、细胞膜的完整性等^[2],但对不同类型肿瘤的MRI研究表明,肿瘤的ADC值与肿瘤细胞密度呈明显的负相关,即肿瘤细胞密度越大,ADC值越低^[10-13];这可能与细胞密度越高的肿瘤具有相对更低通透性的半透明细胞膜、相对更丰富的细胞内水含量、相对更窄的细胞外间隙有关^[14]。本研究对直肠癌ADC值与细胞密度之间的相关性进行统计学分析,发现两者间同样存在负相关,当b=1200 s/mm²时,其相关性最高($r = -0.76$)。利用反证法可以认为ADC值与细胞密度相关性高时,ADC值更能反映组织的水分子扩散的实际状况。

综上所述,当b值=1200 s/mm²时DWI图像上肿瘤的SNR高于T₂WI,T₂穿透效应基本消除,直肠癌ADC值与细胞密度相关程度最高($r = -0.76$),权衡图像质量和反映水分子扩散两方面的因素,笔者认为1200 s/mm²是3.0 T磁共振扩散加权成像诊断直肠癌病灶的合适b值,选择合适b值的DWI更有利于直肠癌病灶的检出。由于3.0 T磁共振具有高磁场均匀度、高磁场切换度等特点,加上敏感编码等技术的应用,给DWI检查中b值的提高提供了空间。DWI检查b值的选择目前无统一评价标准,尚需进一步研究。

参考文献:

- [1] Zhao Q, Liu L, Wang Q, et al. Preoperative diagnosis and staging of rectal cancer using diffusion-weighted and water imaging combined with dynamic contrast-enhanced scanning[J]. *Oncol Lett*, 2014, 8(6): 2734-2740.
- [2] Joye I, Deroose CM, Vandecaveye V, et al. The role of diffusion-weighted MRI and ¹⁸F-FDG PET/CT in the prediction of pathologic complete response after radiochemotherapy for rectal cancer: a systematic review[J]. *Radiother Oncol*, 2014, 113(2): 158-165.
- [3] Feng Q, Yan YQ, Zhu J, et al. T staging of rectal cancer: accuracy of diffusion-weighted imaging compared with T₂-weighted imaging on 3.0 tesla MRI[J]. *J Dig Dis*, 2014, 15(4): 188-194.
- [4] Boone D, Taylor SA, Halligan S. Diffusion weighted MRI: overview and implications for rectal cancer management[J]. *Colorectal Dis*, 2013, 15(6): 655-661.
- [5] 杨记华, 高雪梅, 程敬亮. 磁共振扩散加权成像对直肠癌术前分期的价值[J]. *放射学实践*, 2012, 27(3): 325-328.
- [6] Tan CH, Wei W, Johnson V, et al. Diffusion-weighted MRI in the detection of prostate cancer: meta-analysis[J]. *Am J Roentgenol*, 2012, 199(4): 822-829.
- [7] Boonsirikamchai P, Choi S, Frank SJ, et al. MR imaging of prostate cancer in radiation oncology: what radiologists need to know[J]. *Radiographics*, 2013, 33(3): 741-761.
- [8] Kim SH, Cha ES, Kim HS, et al. Diffusion-weighted imaging of breast cancer: correlation of the apparent diffusion coefficient value with prognostic factors[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2009, 30(3): 615-620.
- [9] Silvera S, Oppenheim C, Touzé E, et al. Spontaneous intracerebral hematoma on diffusion-weighted images: influence of T₂-shine-through and T₂-blackout effects[J]. *Am J Neuroradiol*, 2005, 26(2): 236-241.
- [10] Gibbs P, Liney GP, Pickles MD, et al. Correlation of ADC and T₂ measurements with cell density in prostate cancer at 3.0 Tesla[J]. *Invest Radiol*, 2009, 44(9): 572-576.
- [11] Tasaki A, Asatani MO, Umezumi H, et al. Differential diagnosis of uterine smooth muscle tumors using diffusion-weighted imaging: correlations with the apparent diffusion coefficient and cell density[J]. *Abdom Imaging*, 2015, 40(6): 1742-1752.
- [12] Manenti G, Di Roma M, Mancino S, et al. Malignant renal neoplasms: correlation between ADC values and cellularity in diffusion weighted magnetic resonance imaging at 3T[J]. *Radiol Med*, 2008, 113(2): 199-213.
- [13] Doskalyev A, Yamasaki F, Ohtaki M, et al. Lymphomas and glioblastomas: differences in the apparent diffusion coefficient evaluated with high b-value diffusion-weighted magnetic resonance imaging at 3T[J]. *Eur J Radiol*, 2012, 81(2): 339-344.
- [14] Lyng H, Haraldseth O, Rofstad EK. Measurement of cell density and necrotic fraction in human melanoma xenografts by diffusion weighted magnetic resonance imaging[J]. *Magn Reson Med*, 2000, 43(6): 828-836.

(收稿日期:2015-11-04 修回日期:2016-02-29)