

直肠癌 MR 扩散加权成像的 b 值选取及其应用价值

饶圣祥, 曾蒙苏, 程伟中, 许剑民, 孙益红, 纪元, 陈财忠, 张澍杰, 李韧晨

【摘要】 目的:探讨扩散加权成像在直肠癌中的应用价值及最佳 b 值的选择。**方法:**45 例直肠癌行高分辨率 MR T₂WI 及 DWI 检查, DWI 采用单次激发自旋回波-平面回波技术(SE-EPI), 选择 b 值为 500、800、1000、1200s/mm², 评价直肠癌的显示情况, 计算肿瘤的信噪比(SNR)及肿瘤与肠周脂肪、肌肉的对比噪声比(CNR), 对不同 b 值的图像质量进行统计分析。另 20 例同时行自由呼吸薄层 DWI 扫描, b 值为 1000 s/mm², 行冠状面最大强度投影(MIP)及多平面重组(MPR), 将图像反转及彩色化, 评价其对肿瘤的显示情况。**结果:**在不同 b 值时, 所有直肠癌均表现为高信号, 与正常肠壁对比高于 T₂WI。MIP 及 MPR 的反转图像及彩色化图像, 病灶与背景产生鲜明对比, 清楚直观的显示肿瘤。肿瘤的信号、SNR 及肿瘤与肠周脂肪、肌肉及水的 CNR 随着 b 值的增加而下降, 但与正常肠壁的对比更明显(42/45)。b=500 s/mm² 高信号的正常小肠显示较多, 对 21 例直肠上段癌的判断存在一定的困难, 而 b≥800 s/mm² 正常组织结构显示少, 基本不影响肿瘤的显示。b 值为 800 s/mm² 与 1000 s/mm² 时 SNR 及所有 CNR 差异均无显著性意义, 余各组间的 SNR 及 CNR 间差异均有显著性意义。**结论:**DWI 对直肠癌显示敏感性高, b 值选择 800 和 1000s/mm² 较理想。

【关键词】 直肠肿瘤; 磁共振成像; 统计学, 非参数

【中图分类号】 R445. 2; R735. 3 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2007)10-1013-04

Appropriate b Factor Selection and Its Value of Diffusion-weighted Magnetic Resonance Imaging in Rectal Cancer RAO Sheng-xiang, ZENG Meng-su, CHENG Wei-zhong, et al. Department of Radiology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, P. R. China

【Abstract】 Objective: To determine the value and appropriate b factor of diffusion-weighted magnetic resonance imaging (DW-MRI) in depicting rectal cancer. **Methods:** Forty-five patients with primary rectal cancer underwent high resolution T₂WI and diffusion-weighted single-shot spin-echo echo-planar imaging (SE-EPI) with breath holding. The b factors used were 500, 800, 1000 and 1200s/mm². The detection of tumors were assessed, and signal-to-noise ratio (SNR) of tumors, contrast-to-noise ratios (CNRs) of tumor-fat, tumor-muscle were calculated and compared. Twenty cases underwent thin-slice DWI without breath-holding simultaneously, and the axial source images were used for maximum intensity projection (MIP) and multiplanar reformation (MPR). The images were provided with reversed-contrast and color map display for assessment. **Results:** Diffusion-weighted imaging depicted all rectal cancers as hyperintense areas with various b factors and the contrast between the tumor and normal rectal wall was clearer than T₂WI. The MIP and MPR images with reversed-contrast and color map display had fair contrast between tumors and background. The SI and SNR of tumors and CNRs of tumor-fat, tumor-muscle were decreased with increasing b factor, but the contrast between the tumor and normal rectal wall became more obvious (42/45). When b=500s/mm², some normal small intestine were hyperintense and confused with tumor of upper rectum (n=21), but when b≥800s/mm², only few normal structures were hyperintense and easily differentiated from the tumors. The SNR of tumors and CNRs of tumor-fat, tumor-muscle in the DWI with b=800, 1000s/mm² differed statistically significantly with the others, which showed no significant difference between various b factors each other. **Conclusion:** DW-MRI has great detectability for rectal cancer and b=800s/mm² and 1000s/mm² may be the appropriate b factor for depicting rectal cancer.

【Key words】 Rectal neoplasms; Magnetic resonance imaging; Statistics, nonparametric

磁共振扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)是对组织结构微观分子水平的反映, 在显示病灶的敏感性及诊断和鉴别诊断方面有重要价值。

作者单位: 200032 上海, 复旦大学附属中山医院放射科、上海市影像医学研究所、复旦大学上海医学院影像医学系(饶圣祥、曾蒙苏、程伟中、陈财忠、张澍杰、李韧晨), 普外科(许剑民、孙益红), 病理科(纪元)

作者简介: 饶圣祥(1976-), 男, 江苏吴县人, 博士研究生, 主要从事腹部影像诊断工作。

通讯作者: 曾蒙苏, E-mail: zms@zshospital.net

DWI 广泛应用于颅脑成像^[1,2], 随着平面回波成像(echo planar imaging, EPI)扫描技术的应用, 最大限度的避免呼吸移动伪影, 开始应用于腹部检查^[3,4], 目前 DWI 对直肠癌的研究尚处于探索阶段^[5-7], 其价值需进一步探讨。笔者对 45 例直肠癌患者进行前瞻性研究, 评价 DWI 对直肠癌显示能力及不同 b 值(又称为扩散系数)图像质量的比较, 以探讨其临床应用价值。

材料与方法

45 例患者经肠镜检查,活检证实为直肠癌后行 MRI 检查,其中男 20 例,女 25 例,年龄 20~79 岁,平均 56.2 岁。临床主要症状为大便带血。

采用 Siemens Avanto 1.5T MRI 扫描仪,相控阵列体线圈。检查前一天晚上流质饮食,禁食 8 h,检查前清洁灌肠。患者仰卧位,先行高分辨 T_2 WI 扫描。扫描参数 TR 2400~3500 ms, TE 90~100 ms,视野 (FOV) 18 cm×18 cm,矩阵 272×320,层厚 3 mm,无间隔扫描。

DWI 扫描采用单次激发自旋回波-平面回波技术 (SE-EPI)。扫描参数 TR 3200 ms, TE 74 ms,视野 (FOV) 300 mm×244 mm,矩阵 128×128,层厚 7 mm,间隔 2.1 mm。扩散敏感梯度选择 b 值为 500、800、1000、1200 s/mm²。各个 DWI 扫描均在 1 次屏气中完成,扫描时间为 17 s。另有 20 例直肠癌同时行自由呼吸 DWI 扫描,扫描参数 TR 6800 ms, TE 70 ms,视野 (FOV) 380 mm×356 mm,矩阵 128×128,层厚 4 mm,无间隔扫描,b 值选择 1000 s/mm²,扫描时间 3 min 46 s。

DWI 图像分析均在西门子工作站 Leonardo 进行,分析比较不同 b 值与高分辨率 T_2 WI 的肿瘤及其他正常结构的显示情况。20 例行薄层自由呼吸 DWI,行冠状面最大强度投影 (maximum intensity projection, MIP) 及多平面重组 (multiplanar reformation, MPR),将图像反转及彩色化,评价其对肿瘤的显示情况。

测量肿瘤、肠周脂肪、肌肉的信号强度:选取肿瘤的最大层面,感兴趣区 (regions of interest, ROI) 沿着肿瘤边缘覆盖整个肿瘤,而肠周脂肪、肌肉及水 ROI 取圆形或卵圆形分别置于肠周脂肪、臀大肌及背景区域,并计算肿瘤的信噪比 (signal-to-noise ratio, SNR) 及肿瘤与肠周脂肪、肌肉的对比噪声比 (contrast-to-noise ratio, CNR)。计算公式:

$$SNR = \frac{S_{\text{tumor}}}{SD_{\text{noise}}}$$

$$CNR = \frac{S_{\text{tumor}} - S_x}{SD_{\text{noise}}}$$

S_{tumor} 代表肿瘤的信号强度, SD_{noise} 代表背景信号强度的标准差, S_x 代表肠周脂肪、肌肉的信号强度。根据不同 b 值肿瘤显示能力和 SNR、CNR 综合判断。

采用 SPSS 11.5 统计分析软件,对比不同 b 值时肿瘤 SNR、CNR,采用方差分析, $P < 0.05$ 认为差异有显著性意义。

结果

1. 不同 b 值与高分辨率 T_2 WI 的肿瘤的显示

在不同 b 值时,所有直肠癌均表现为高信号,与正常肠壁对比高于 T_2 WI (图 1), MIP 及 MPR 的反转图像及彩色化图像,病灶与背景产生鲜明对比,清楚直观的显示肿瘤 (图 2, 3)。而高分辨率 T_2 WI 图像的肿瘤信号强度与肿瘤细胞类型有关,本组 34 例为非黏液腺癌,与正常肠壁对比明显低于 DWI,其中 3 例 $T_1 \sim T_2$ 期肿瘤 T_2 WI 显示不清而 DWI 清楚显示 (图 4); 11 例肿瘤为黏液腺癌, T_2 WI 呈明显高信号,显示较好,但 1 例 T_2 肿瘤较小,与肠道残留水信号强度相似,显示较差,但 DWI 显示较好 (图 5)。对于转移淋巴结的显示,最大径 1 cm 以上均能在 DWI 显示 (图 6),对于较小淋巴结,仅部分能显示。

直肠癌的信号强度随着 b 值的增加而下降,与正常肠壁的对比明显,但 3 例 $b = 1200 \text{ s/mm}^2$ 及其中 2

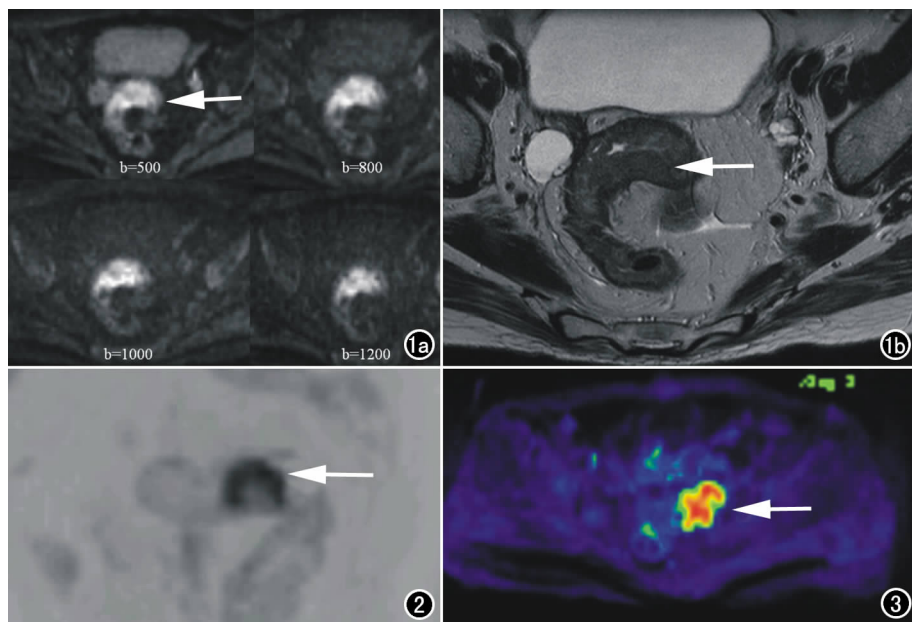


图 1 女, 61 岁。a) 不同 b 值屏气 DWI, 肿瘤 (箭) 均表现为明显高信号; b) 随着 b 值增加, 肿瘤 SNR 下降, 与正常肠壁对比高于高分辨 T_2 WI。图 2 女, 68 岁。薄层自由呼吸 DWI ($b = 1000 \text{ s/mm}^2$), MPR 斜矢状面重组后图像反转, 背景抑制较好, 肿瘤 (箭) 清楚显示。图 3 女, 56 岁。薄层自由呼吸 DWI ($b = 1000 \text{ s/mm}^2$), MPR 斜横断面重组后图像彩色化, 肿瘤 (箭) 与背景对比明显, 显示直观清楚。

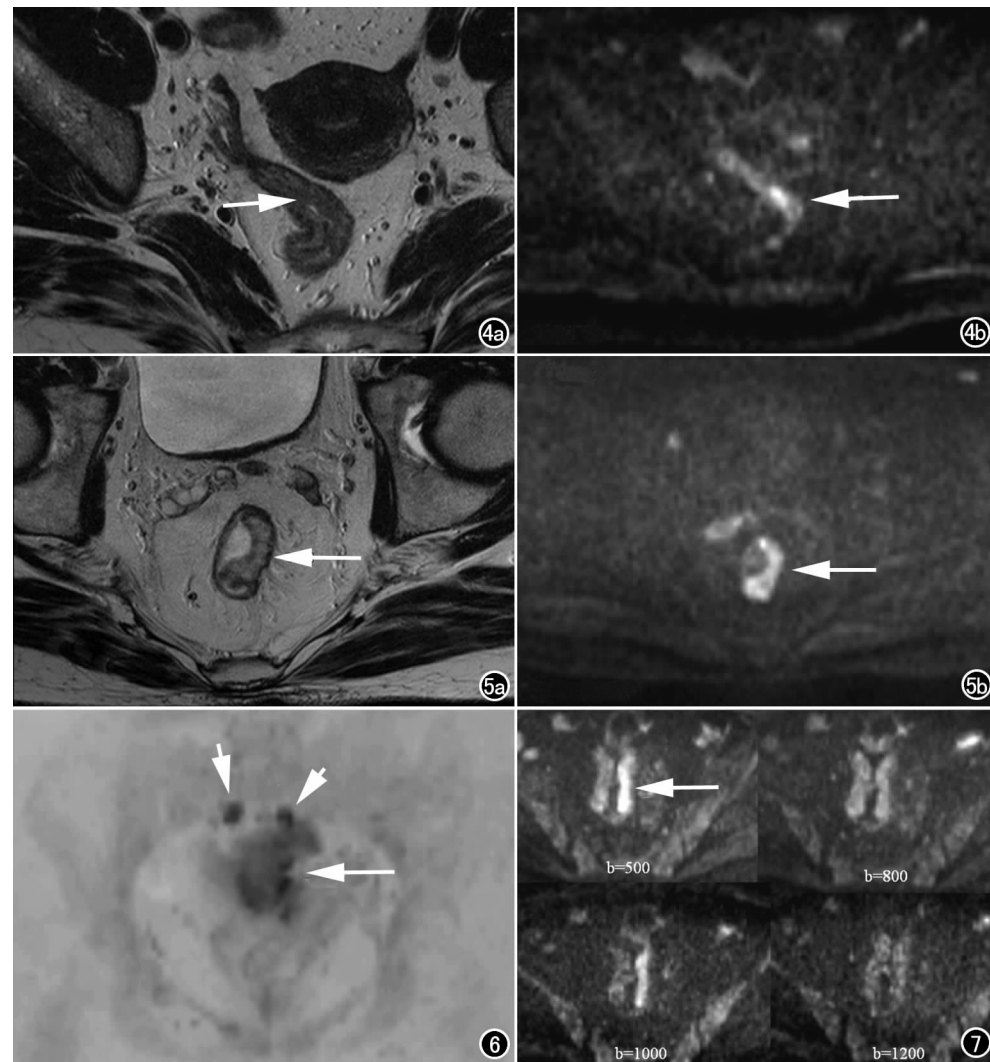


图 4 女, 51 岁, T_2 期肿瘤。a) 高分辨 T_2 WI 示肠壁轻度增厚; b) 屏气 DWI ($b=800 \text{ s/mm}^2$) 示肿瘤呈明显高信号(箭), 显示清楚, 部分小肠及子宫内膜呈高信号。

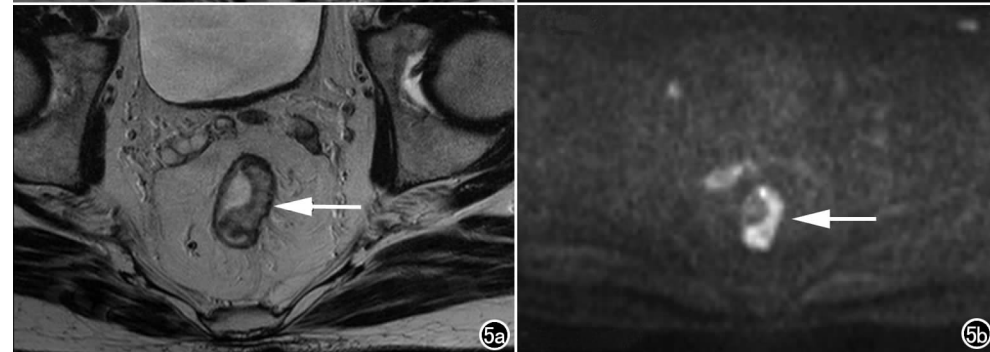


图 5 男, 76 岁, T_2 期黏液腺癌。a) 高分辨 T_2 WI 示肿瘤呈高信号, 局部肠壁增厚(箭)与肠道残留水分易混淆; b) 屏气 DWI ($b=1000 \text{ s/mm}^2$), 示肿瘤呈明显高信号(箭), 肠道内水呈低信号, 肿瘤显示清楚, 右侧精囊腺呈高信号。

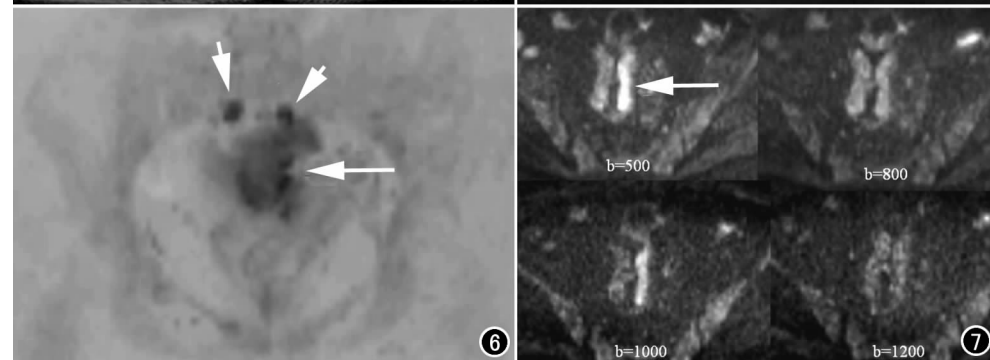


图 6 女, 69 岁。薄层自由呼吸 DWI ($b=1000 \text{ s/mm}^2$), MIP 图像反转, 肿瘤(箭)与转移淋巴结(短箭)清楚显示。

图 7 女, 69 岁。不同 b 值屏气 DWI, $b=1200 \text{ s/mm}^2$ 时肿瘤(箭)信号下降明显, 显示欠佳。

例 $b=1000 \text{ s/mm}^2$ 时病灶显示较淡(图 7)。DWI 除直肠癌呈高信号外, 一些正常组织结构或其他病变呈高信号, 包括小肠、前列腺外周带、精囊腺、子宫内膜、睾丸、小静脉等。随着 b 值的增加, 呈高信号的正常组织结构变少, $b=500 \text{ s/mm}^2$ 正常高信号结构显示较多, 主要是高信号的正常小肠显示较多, 致本组 21 例直肠上段癌的判断存在一定的困难, 而 $b \geq 800 \text{ s/mm}^2$ 正常组织结构显示少, 基本不影响肿瘤的显示, 但肿瘤的信号亦随 b 值增加而下降。

2. 不同 b 值的 SNR 及 CNR 的比较

肿瘤的 SNR 及肠周脂肪、肌肉的 CNR 随着 b 值的增加而下降见表 1。经统计分析, SNR 值及所有 CNR 值均符合正态分布。不同 b 值的 SNR 及 CNR 的统计比较见表 2。

从表 1、2 所示 b 值为 800 s/mm^2 与 1000 s/mm^2 时 SNR 及所有 CNR 差异均无显著性意义 ($P>0.05$), 但其低于 b 值为 500 s/mm^2 而高于 b 值为 1000 s/mm^2 的差异有显著性意义 ($P<0.05$)。单从 SNR、CNR 判

断 b 值选择 500 s/mm^2

表 1 不同 b 值的 SNR 与 CNR 的比较

b 值	SNR _T	CNR _{T/M}	CNR _{T/F}
500	109.5±26.1	79.3±22.4	84.8±23.5
800	89.0±22.9	63.6±18.9	63.2±19.6
1000	84.16±27.1	58.7±21.6	52.9±19.4
1200	68.8±27.3	47.5±14.7	41.8±15.1

注: SNR_T 代表肿瘤的 SNR, CNR_{T/M}, CNR_{T/F} 分别代表肿瘤与肌肉、脂肪的 CNR。

表 2 不同 b 值间 SNR 及 SNR 的统计分析 P 值

b 值	SNR _T	CNR _{T/M}	CNR _{T/F}
500 与 800	0.004	0.006	0.000
500 与 1000	0.000	0.000	0.000
500 与 1200	0.000	0.000	0.000
800 与 1000	0.477	0.382	0.071
800 与 1200	0.004	0.004	0.000
1000 与 1200	0.026	0.047	0.048

时最高, 但从诊断性能上分析 $b=500 \text{ s/mm}^2$ 时对直肠癌上段的显示有一定的干扰。综合图像质量和肿瘤显示因素评价, 以 b 值为 800 s/mm^2 与 1000 s/mm^2

时最好。

讨 论

1. DWI 技术的应用

目前 DWI 的首选方法采用平面回波成像技术,其有最快的成像速度、可以最大限度的减少运动所造成的误差,并可以使表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值更为精确。因此近年来逐步开始应用于腹盆腔成像^[3-7], DWI 不仅有助于直肠癌的检出^[5,6],而且用于观察辅助放疗的治疗反应^[8,9]。

2. DWI 对直肠癌检出的价值

不同 b 值直肠癌均表现为高信号,与肿瘤细胞丰富,扩散衰减慢,ADC 小有关^[2,8,9]。直肠癌的信号强度随着 b 值的增加而下降,但与正常肠壁的对比明显,其对比度较高分辨率 T₂WI 明显^[6]。本组研究未具体测量肿瘤与正常肠壁的 CNR,主要是因为正常肠壁较薄,而且在 b 值为 1000 s/mm² 和 1200 s/mm² 时肠壁常常信号很低或与肠周脂肪呈等信号(图 4b, 5b, 7),测量难度较大,且经多次重复测量时发现数据误差太大,不可靠,因此采用主观判断肿瘤与肠壁的对比度。随着 b 值的增加,正常肠壁呈低信号或显示不清,而肿瘤仍呈高信号,两者对比明显,但是随着 b 值的升高,肿瘤信号及图像的 SNR 下降,本组 b=1000 s/mm² 和 1200 s/mm² 分别有 2 例和 3 例病灶显示较淡。在本组研究中发现 DWI 成像除了直肠癌呈高信号外,一些正常结构亦表现为高信号,主要包括小肠、前列腺外周带、精囊腺、子宫内膜、睾丸、小静脉等,其随着 b 值增大而显示变淡变少,而且 b $\geq$ 800 s/mm² 时这些正常结构根据解剖位置,一般不易与直肠癌混淆。本研究虽然未评价 DWI 对淋巴结转移的价值,但是发现大于 1 cm 的转移淋巴结基本能显示,亦呈高信号,而对于较小淋巴结部分可显示,提示 DWI 对淋巴结转移可能有应用前景。

DWI 由于 SNR 较低,不能进行术前肿瘤分期,但可帮助肿瘤定位,有助于提高 T₂WI 分期的准确性^[6]。本研究 20 例采用两种 DWI 成像方法,屏气技术 DWI 时间快(17 s),但受 SNR 的影响,层面较厚(7 mm),而自由呼吸 DWI 成像,与 PACE(prospective acquisition and correction)技术相结合,采用多次激励,能获得质量较好的图像,而且可行 MPR 及 MIP 重组,通过图像反转及彩色化,形成具有高对比的 2D 和 3D 类正电子断层扫描(positron emission tomography, PET)图像,但其成像时间相对较长(3 min 46 s)。

3. DWI 的合适 b 值选择

b 值越高对水分子扩散运动越敏感,背景抑制更完全,ADC 值更准确。但 b 值增高,组织信号衰减越明显,太高的 b 值得到的 DWI 的 SNR 很低。本组研究肿瘤的 SNR 及肿瘤与肠周脂肪、肌肉的 CNR 随着 b 值的升高而下降, b 值 1200 s/mm² 时 SNR 和 CNR 较低,低于其他 b 值,差异有显著性意义,而且 45 例直肠癌有 3 例显示较淡。b 值 500 s/mm² 时虽然 SNR 和 CNR 较高但表现为高信号的正常结构较多,与正常肠壁的对比差,且高信号小肠结构常干扰直肠上段癌的显示。而 b 值为 800 s/mm² 和 1000 s/mm² 时 SNR 和 CNR 适中,两者间差异无显著性意义,背景抑脂较好,根据前面所述 b 值高,ADC 值更准确, b 值应选择 1000 s/mm² 较好,但出现本组 2 例直肠癌在 b 值 1000 s/mm² 时显示较淡,不如 800 s/mm² 好。综合考虑笔者认为根据具体情况, b 值选择为 800 或 1000 s/mm² 比较合适,能更好的显示病灶。

参考文献:

- [1] Gonzalez RG, Schaefer PW, Buonanno FS, et al. Diffusion-weighted MR Imaging: Diagnostic Accuracy in Patients Imaged within 6 Hours of Stroke Symptom Onset[J]. Radiology, 1999, 210(1): 155-162.
- [2] Sugahara T, Korogi Y, Kochi M, et al. Usefulness of Diffusion-weighted MRI with Echo-planar Technique in the Evaluation of Cellularity in Gliomas[J]. J Magn Reson Imaging, 1999, 9(1): 53-60.
- [3] Ichikawa T, Haradome HH, Hachiya J, et al. Diffusion-weighted MR Imaging with Single-shot Echo-planar Imaging in the Upper Abdomen: Preliminary Clinical Experience in 61 Patients[J]. Abdom Imag, 1999, 24(5): 456-461.
- [4] 徐海波, 孔祥泉, 肖学宏, 等. 扩散加权平面回波成像在肝占位性病变中的应用探讨[J]. 中华放射学杂志, 1999, 33(11): 766-768.
- [5] Ichikawa T, Erturk SM, Motosugi U, et al. High-B-value Diffusion-weighted MRI in Colorectal Cancer[J]. AJR, 2006, 187(1): 181-184.
- [6] Nasu K, Kuroki Y, Kuroki S, et al. Diffusion-weighted Single Shot Echo Planar Imaging of Colorectal Cancer Using a Sensitivity-encoding Technique[J]. Jpn J Clin Oncol, 2004, 34(10): 620-626.
- [7] 孙应实, 张晓鹏, 唐磊. 直肠癌扩散加权成像 b 值选取及对直肠癌显示能力的评价[J]. 中国医学影像技术, 2005, 21(12): 1839-1843.
- [8] Roth Y, Tichler T, Kostenich G, et al. High-b-value Diffusion-weighted MR Imaging for Pretreatment Prediction and Early Monitoring of Tumor Response to Therapy in Mice[J]. Radiology, 2004, 232(3): 685-692.
- [9] Dzik-Jurasz A, Domenig C, George M, et al. Diffusion MRI for Prediction of Response of Rectal Cancer to Chemoradiation[J]. Lancet, 2002, 360(9329): 307-308.

(收稿日期: 2006-09-22 修回日期: 2007-03-02)