

论著·基础研究 doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2018.08.007

磁共振 DWI 高 b 值及 ADC 值在超急性脑缺血中的应用价值*

张武¹, 何占平¹, 陈晶^{1△}, 余丹², 陈建强¹, 李香莹¹, 战跃福¹, 鄢玉芹¹

(中南大学湘雅医学院附属海口医院:1.放射科;2.神经内科,海口 570208)

[摘要] **目的** 探讨磁共振扩散加权成像(DWI)高 b 值及表观弥散系数(ADC)值在超急性脑缺血诊断中的价值。**方法** 选成年 SD 大鼠,采用随机数字表法分为缺血组和对照组,依据缺血时间长短将缺血组再分为 0.25、0.50、1.00、2.00、4.00 h 及 6.00 h 组,每组各 6 只,共 42 只。缺血组行右侧大脑中动脉栓塞(MCAO),分别进行头部 T2WI、DWI(b 值分别为 0、400、800、2 000、3 000 s/mm²)扫描,记录对比噪声比(CNR)、信噪比(SNR)值,测量 T2WI、DWI 高信号最大层面相对面积(rs-T2WI、rs-DWI)及相对表观扩散系数(rADC)值,观察缺血区域的影像学改变,检验灵敏度及特异度。**结果** b 值为 2 000、3 000 s/mm² 时 DWI 对超急性期脑缺血的诊断率明显高于 b 值为 400、800 s/mm² ($P<0.05$),b 值为 400、800、2 000、3 000 s/mm² 在诊断超急性脑缺血的敏感性分别为 16.7%、50.0%、100.0%、100.0%,特异度为 16.7%、50.0%、100.0%、100.0%。不同 b 值下 ADC 值差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 高 b 值 DWI 在诊断超急性脑缺血明显优于低 b 值,尤其在脑缺血 0.25 h 及 0.50 h 显示病灶方面更具优势。

[关键词] 超急性脑缺血;磁共振成像;扩散加权成像;高 b 值;大鼠,Sprague-Dawley

[中图分类号] R445.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2018)08-1029-04

Application value of magnetic resonance DWI high b-value and ADC value in hyperacute cerebral ischemia*

ZHANG Wu¹, HE Zhanping¹, CHEN Jing^{1△}, YU Dan², CHEN Jianqiang¹, LI Xiangying¹, ZHAN Yuefu¹, WU Yuqin¹

(1. Department of Radiology; 2. Department of Neurology, Affiliated Haikou Hospital of Xiangya Medical School, Central South University, Haikou, Hainan 570208, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the value of DWI high b value and ADC value in the diagnosis of hyperacute cerebral ischemia. **Methods** Adult SD rats were selected and divided into the control and ischemic group by adopting the random number table method, the ischemic group was re-divided into 0.25, 0.50, 2.00, 4.00, 6.00 h groups according to the ischemic time, 6 cases in each group with a total of 42 cases. The ischemic group conducted the right middle cerebral artery occlusion(MCAO) for performing the head T2WI and DWI scanning(b values were 0, 400, 800, 2 000, 3 000 s/mm²), the CNR and SNR values were recorded, rs-T2WI, rs-DWI and relative apparent diffusion coefficient(rADC) were measured. Then the imaging change of ischemic area was observed. The sensitivity and specificity were detected. **Results** In b=2 000 s/mm² and 3 000 s/mm², the diagnostic rates of DWI for hyperacute cerebral ischemia were obviously higher than those in b=400 s/mm² and 800 s/mm², and when the b values were 400, 800, 2 000, 3 000 s/mm², the sensitivities were 16.7%, 50.0%, 100.0% and 100.0% respectively and the specificities were 16.7%, 50.0%, 100.0% and 100.0% respectively. The difference of ADC values under different b values had statistical significance($P<0.05$). **Conclusion** High b value DWI in the diagnosis of hyperacute ischemia is significantly better than that of low b value, especially in the aspect of displaying the lesion at 0.25, 0.50 h cerebral ischemia.

[Key words] early cerebral ischemia; MRI; ADC; high b-value; rats, Sprague-Dawley

随着全球人口的老齡化程度的日益加深,脑梗死的发病率也逐年攀升,随之带来的高致残率、高死亡率等并发症严重威胁着人类的健康和生存质量,甚至导致永久性残疾或死亡。在西方国家,脑梗死是导致死亡的第三大原因^[1]。扩散加权成像(DWI)是一种非创伤性成像技术,可以检测水分子的微观扩散^[2-3]。目前,已广泛地应用于脑功能障碍的临床应用中,特别是在早期检测脑梗死的影像学诊断中^[4-5]。国内外有研究表明,不同 b 值 DWI 在超急性脑缺血诊断价值存在差异,高低 b 值在诊断超急性脑缺血中的应用价值存在争议,不同 b 值在诊断超急性脑梗死的灵敏度存在差异^[6-7]。但具体 b 值目前尚存在一定的争论,没有统一的标准和定论。本研究旨在通过对不

同 b 值 DWI 进行运用探讨 b 值及表观弥散系数(ADC)值高低在超急性脑缺血中的应用价值,分析不同 b 值条件下的灵敏度及特异度,为临床早期发现、诊断、治疗和预后评估提供参考依据和技术手段。

1 材料与方法

1.1 动物及分组 健康 SD 大鼠,体质量 300~350 g,雌雄不拘,术前禁食 24 h,采用随机数字表法分为缺血组[采用 Taniguchi 法进行大鼠大脑中动脉栓塞(MCAO)]、对照组。每组按栓塞后时间点再分为 0.25、0.50、1.00、2.00、4.00 h 及 6.00 h 组,每组各 6 只,共 42 只。本研究经医院伦理委员会批准[2016-(伦审)-102]。

1.2 方法 采用美国 GE 公司 signa HDX 3.0 T MR 机扫描, 上海辰光医疗科技有限公司生产的专用相控阵实验动物线圈(大鼠, 5 cm 孔径)。动物仰卧, 以视交叉为中心行 T1WI 冠状位定位扫描, 层厚 2 mm, 间距 0 mm, FOV 4 cm×4 cm, 矩阵 128×128。DWI: DWI 采用回波平面成像(EPI)序列, TR 9 000 ms, TE 102 ms, b 值分别为 0、400、800、2 000、3 000 s/mm²。依据公式: 表观扩散系数(ADC) = ln(S₁/S₀)/(bo-b1), S₁ 为 b=1 000 的信号强度, S₀ 为 b=0 的信号强度, ln 为自然对数。分别进行头部 T2WI、DWI(b 值分别为 0、400、800、2 000、3 000 s/mm²) 扫描, 记录对比噪声比(CNR)、信噪比(SNR)值, 测量 T2WI、DWI 高信号最大层面相对面积(rs-T2WI、rs-DWI)及相对表观扩散系数(rADC)值, 观察缺血区域的影像学改变, 检验灵敏度及特异度。

1.3 统计学处理 采用 SPSS17.0 软件进行分析, 计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用重复测量方差分析(ANOVA), 计数资料用率表示, 采用 χ^2 检验, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同 b 值 DWI 扫描 SNR 和 CNR 比较 不同 b 值 DWI 扫描 SNR 比较, 各组间差异均有统计学意义($P < 0.05$)。不同 b 值 DWI 扫描 CNR 比较, b 值 400 和 800、2 000、3 000 s/mm², b 值 800 和 2 000、3 000 s/mm² 比较差异均有统计学意义($P < 0.05$); b 值 2 000 和 3 000 s/mm² 之间比较差异无统计学意义($P = 0.303$)。不同 b 值 DWI 扫描, SNR 和 CNR 存在差异, 随着 b 值得增加, SNR 和 CNR 均逐渐降低, 见表 1。

2.2 不同 b 值 DWI 扫描病变区与健侧对称区 DWI 及 ADC 信号强度比较 病变区与健侧对称区 DWI 信号强度及信号比

比较, 不同 b 值间差异均有统计学意义($P < 0.05$)。病变区与健侧对称区 ADC 信号强度及信号比比较, 不同 b 值各组 ADC 值间差异均有统计学意义($P < 0.05$); b 值 400 和 800、2 000 s/mm², b 值 800 和 2 000、3 000 s/mm², b 值 2 000 和 3 000 s/mm² ADC 信号比比较差异均有统计学意义($P < 0.05$); b 值 400 和 3 000 s/mm² 之间 ADC 信号比比较差异无统计学意义($P = 1.00$)。随着 b 值的增加, DWI 和 ADC 信号均逐渐降低, DWI 信号比逐渐增加, 见表 2。

2.3 不同 b 值不同时间点 DWI 扫描 rDWI 和 rADC 均值比较 DWI 扫描 rDWI 均值比较, b 值 400、800、2 000、3 000 s/mm² 各组 rDWI 总体比较差异无统计学意义($F = 2.509$, $P = 0.066$)。DWI 扫描 rADC 均值比较, b 值 400、800、2 000、3 000 s/mm² 各组 rADC 总体比较差异有统计学意义($F = 19.196$, $P < 0.05$); b 值 400 和 800、2 000、3 000 s/mm², b 值 800 和 2 000、3 000 s/mm² 比较差异均有统计学意义($P < 0.05$); b 值 2 000 和 3 000 s/mm² 之间比较差异无统计学意义($P = 0.366$)。不同时间 DWI 扫描 rDWI 均值比较: b 值 400、800、2 000、3 000 s/mm² 各组 rDWI 总体比较差异无统计学意义($F = 0.879$, $P = 0.500$)。不同时间 DWI 扫描 rADC 均值比较各组间差异均有统计学意义($F = 38.795$, $P < 0.05$)。rDWI 和 rADC 值均随 b 的增加而增加; 但随着缺血时间的延长, rDWI 值呈现上升趋势, 而 rADC 值呈现下降趋势。缺血组 b 值等于 400、800 s/mm² DWI 出现高信号的病灶明显低于 b 值等于 2 000、3 000 s/mm², 在缺血后 0.25、0.50 h 高 b 值于显示病灶方面明显优于低 b 值, 见表 3、4、图 3。

表 1 不同 b 值 DWI 扫描 SNR 和 CNR 比较($\bar{x} \pm s$)

项目	400 s/mm ²	800 s/mm ²	2 000 s/mm ²	3 000 s/mm ²	F	P
SNR	21.06±16.07	18.63±14.41	15.80±11.02	13.16±10.21	60.323	<0.01
CNR	158.41±130.12	134.50±108.21	122.20±103.54	119.13±83.72	87.260	<0.01

表 2 不同 b 值 DWI 扫描病变区与健侧对称区 DWI 及 ADC 信号强度比较

项目	400 s/mm ²	800 s/mm ²	2 000 s/mm ²	3 000 s/mm ²	F	P
病变区域 DWI 信号强度	928.43	752.34	543.23	412.37	1.283	<0.01
病变区与健侧对称区 DWI 信号比	1.17	1.74	2.21	2.71	4.956	<0.01
病变区 ADC 信号强度	624.02	521.38	384.63	341.70	5.510	<0.01
病变区与健侧对称区 ADC 信号比	0.72	0.68	0.71	0.72	3.102	<0.01

表 3 不同 b 值不同时间点 rDWI 和 rADC 的均值比较($\bar{x} \pm s$)

时间	rDWI				rADC			
	400 s/mm ²	800 s/mm ²	2 000 s/mm ²	3 000 s/mm ²	400 s/mm ²	800 s/mm ²	2 000 s/mm ²	3 000 s/mm ²
0.25 h	1.21±0.20	1.41±0.21	1.53±0.18	1.64±0.19	0.54±0.05	0.59±0.07	0.65±0.07	0.68±0.06
0.50 h	1.39±0.18	1.44±0.23	1.58±0.16	1.76±0.18	0.54±0.04	0.58±0.08	0.64±0.07	0.67±0.07
1.00 h	1.52±0.21	1.70±0.25	1.78±0.23	1.92±0.20	0.52±0.04	0.58±0.06	0.64±0.06	0.65±0.06
2.00 h	1.70±0.23	1.78±0.25	1.93±0.25	2.05±0.19	0.53±0.03	0.56±0.07	0.63±0.06	0.64±0.06
4.00 h	2.06±0.25	2.23±0.26	2.35±0.19	2.52±0.22	0.52±0.03	0.55±0.06	0.62±0.06	0.63±0.04
6.00 h	2.41±0.28	2.51±0.25	2.63±0.23	2.81±0.30	0.50±0.04	0.53±0.08	0.60±0.08	0.61±0.08

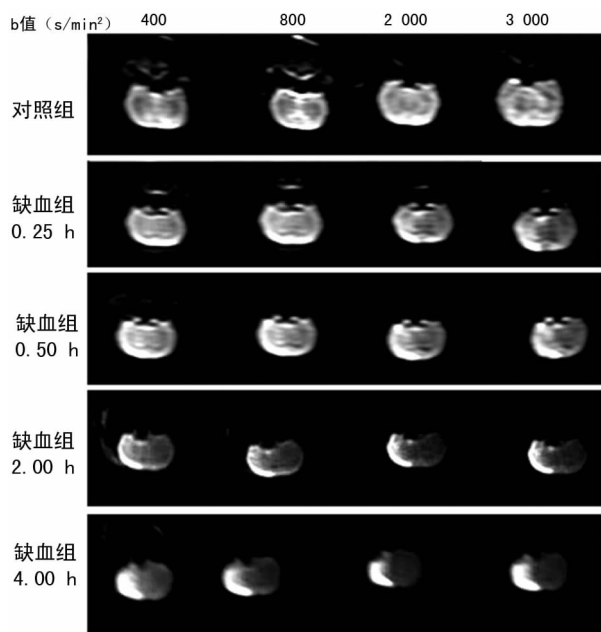


图 3 对照组和缺血组后各时间点多 b 值 DWI 图像

2.4 不同 b 值不同时点 DWI 扫描发现脑卒中的灵敏度及特异度比较 不同 b 值 DWI 扫描灵敏度及特异度比较:b 值 400

与 800, b 值 2 000 与 3 000 s/mm² 灵敏度比较差异无统计学意义($\chi^2=6.667, P=0.247$); b 值 400 与 2 000、3 000, b 值 800 与 2 000、3 000 s/mm² 灵敏度及特异度比较差异均有统计学意义($\chi^2=27.048, P=0.028$)。随着 b 值的增高, 病灶的灵敏度及特异度增高; 随着缺血时间的延长, 病灶的灵敏度及特异度增高; b 值等于 2 000 和 3 000 s/mm² 时, 发现病灶的灵敏度及特异度不受缺血时间的影响, 均为 100%, 缺血时间长短对检出灵敏度及特异度影响不大($\chi^2=20.571, P=0.716$)。b 值 400、800 s/mm² 在缺血后 6 h 检出灵敏度及特异度同高 b 值基本相似, 见表 5。

表 4 不同 b 值实验动物出现高信号的情况

时间	400 s/mm ²	800 s/mm ²	2 000 s/mm ²	3 000 s/mm ²
0.25 h	0	1	6	6
0.50 h	0	2	6	6
1.00 h	1	3	6	6
2.00 h	1	3	6	6
4.00 h	3	6	6	6
6.00 h	4	6	6	6

表 5 不同 b 值不同时点灵敏度及特异度比较(%)

时间	灵敏度				特异度			
	400 s/mm ²	800 s/mm ²	2 000 s/mm ²	3 000 s/mm ²	400 s/mm ²	800 s/mm ²	2 000 s/mm ²	3 000 s/mm ²
0.25 h	0	16.7	100	100	0	16.7	100	100
0.50 h	0	33.3	100	100	0	33.0	100	100
1.00 h	16.7	50.0	100	100	16.7	50.0	100	100
2.00 h	16.7	50.0	100	100	16.7	50.0	100	100
4.00 h	50.0	100	100	100	50.0	100	100	100
6.00 h	66.7	100	100	100	66.7	100	100	100

3 讨 论

MR-DWI 的物质基础是组织中水分子无规则的热运动, 也是目前测量活体水分子扩散运动成像的惟一方法。有研究表明 b 值是衡量磁共振各序列对扩散运动检测能力的重要指标, 它是影响病灶显示敏感性和特异性的重要因素^[8-10]。本研究假定 2 000、3 000 s/mm² 为高 b 值, 400、800 s/mm² 为低 b 值来探讨 b 值高低在超急性期脑缺血诊断中的应用价值。通过实验发现, 随着 b 值的增加, SNR 和 CNR 均逐渐降低($P<0.05$), 与理论预想研究结果一致。但高 b 值两组 CNR 数据比较差异无统计学意义($P>0.05$)。病变区同对应健侧区域 ADC 及 DWI 信号相比差异有统计学意义($P<0.05$), 信号强弱明显受 b 值高低的影响。实验组 b 值等于 400、800 s/mm² DWI 出现高信号的病灶明显低于 b 值等于 2 000、3 000 s/mm², 在缺血后 15、30 min 高 b 值于显示病灶方面明显优于低 b 值, b 值增高, 显示病灶的灵敏度和特异度增高, 在 b 值等于 2 000 s/mm² 和 3 000 s/mm² 时, 发现病灶的灵敏度和特异度不受缺血时间的影响, 均为 100%。这些数据说明高 b 值 DWI 在超急性期脑缺血时显示率明显高于低 b 值 DWI, 因此可

以认为高 b 值 DWI 对于超急性脑缺血病灶更加敏感, 提高 b 值可提高缺血病灶的检出灵敏度。国内外大量研究表明高 b 值 DWI 在发现早期脑缺血中优势明显^[11-13]。周林江等^[14]研究认为 b 值等于 1 000 s/mm² 时, 超急性脑梗死的检出灵敏度和特异度均可达 100%。本研究发现 rADC 值及 rDWI 值随时间及 b 值变化呈连续性变化, 随着缺血时间的延长, rDWI 值逐渐增加, rADC 值逐渐下降。有研究认为 rADC、rDWI 值随时间变化的规律可作为脑缺血时间判定的依据^[12]。但这个观点存在诸多局限性, rADC 及 rDWI 值受 b 值高低及缺血时间长短的影响。有研究表明 6 h 内, rDWI 值随缺血时间增加而增加, rADC 值随缺血时间的增加而降低; 超过 6 h, rDWI 随时间的延长而减低, rADC 随时间延长而增高, 故 rADC 及 rDWI 值不能作为判定缺血时间长短的指标^[15]。在 b 值等于 2 000 s/mm² 和 3 000 s/mm² 两组间 rADC 值差异无统计学意义($P>0.05$), 同时这两种 b 值条件下发现缺血灶的灵敏度均为 100%, 这些数据说明当 b 值高到一定程度, 再继续增加 b 值不仅没有实用意义反而会使命噪比下降从而影响图像质量, 延长扫描时间。有研究表明高 b 值之间, b 值等于 2 000 s/mm² 足

以早期发现缺血灶, 过高 b 值并不能显著区别缺血灶^[11,16]。所以, 临床工作中, 有必要灵活采用不同 b 值 DWI 扫描, 互为补充, 取长补短, 选择使得 DWI 对病灶的检出率及图像质量达到最佳的效果^[17]。ADC 能够客观、量化反映 DWI 发现的缺血灶, 由于其为 DWI 的量化指标, 在反映信号强度方面更加细化与准确。本实验数据表明病变区高 b 值 ADC 值较对侧正常脑组织有显著降低。在发现病灶能力方面高 b 值 (2 000、3 000 s/mm²) 则更具优势^[18]。

总之, DWI 诊断急性脑缺血病变中具有较高的价值, 高 b 值能提高 DWI 对超急性脑缺血的检出率, 具有临床推广价值。

参考文献

- [1] LLOYD-JONES D, ADAMS R, CARNETHON M, et al. Heart disease and stroke statistics-2008 update a report from the american heart association statistics committee and stroke statistics subcommittee[J]. *Circulation*, 2015, 117(4):25-146.
- [2] ALONSO A, SZABO K, WOLF M E, et al. Acute stroke syndromes with isolated hypoperfusion on MRI - a clinical and MRI study[J]. *Eur Neurol*, 2016, 75(1/2):27.
- [3] LIU Z H, LIU X W, HUI L H, et al. The appearance of ADCs in the non-affected areas of the patients with MELAS[J]. *Neuroradiol*, 2011, 53(4):227-232.
- [4] INOUE M, MLYNASH M, CHRISTENSEN S, et al. Early diffusion-weighted imaging reversal after endovascular reperfusion is typically transient in patients imaged 3 to 6 hours after onset[J]. *Stroke*, 2014, 45(4):1024-1028.
- [5] SAINI M, SUMINISTRADO M S, HILAL S, et al. Prevalence and risk factors of acute incidental infarcts [J]. *Stroke*, 2015, 46(10):2722-2727.
- [6] KRETZER L, GRÄBEL D, BOKEMEYER M A, et al. Effect of intravenous thrombolysis on the time course of the apparent diffusion coefficient in acute middle cerebral artery infarction[J]. *J Neuroimaging*, 2015, 25(6):978-982.
- [7] KRANZ P G, EASTWOOD J D. Does Diffusion-weighted imaging represent the ischemic core? An evidence-based systematic review[J]. *Am J Neuroradiol*, 2009, 30(6):1206-1212.
- [8] 张顺, 张妍, 朱文珍. 急性缺血性脑卒中的磁共振研究进

展[J]. *放射学实践*, 2013, 28(4):473-476.

- [9] LETTAU M, LAIBLE M. 3-T high-b-value diffusion-weighted MR imaging in hyperacute ischemic stroke[J]. *J Neuroradiol*, 2013, 40(3):149-157.
- [10] KIDWELL C S, WINTERMARK M, SILVA D A D, et al. Multiparametric MRI and CT models of infarct core and favorable penumbral imaging patterns in acute ischemic stroke[J]. *Stroke*, 2013, 44(1):73.
- [11] PURROY F, BEGUE R, QUILEZ A, et al. Contribution of high-b-value diffusion-weighted imaging in determination of brain ischemia in transient ischemic attack patients [J]. *J Neuroimaging*, 2013, 23(1):33-38.
- [12] CHENG QG, XU XQ, ZU QQ, et al. High b value DWI in evaluation of the hyperacute cerebral ischemia at 3T; A comparative study in an embolic canine stroke model[J]. *Exp Ther Med*, 2016, 12(2):951-956.
- [13] RACT I, FERRÉ J C, RONZIÈRE T, et al. Improving detection of ischemic lesions at 3 Tesla with optimized diffusion-weighted magnetic resonance imaging[J]. *J Neuroradiol*, 2014, 41(1):45-51.
- [14] 周林江, 沈天真, 陈星荣. 磁共振扩散加权成像在超急性期脑梗死诊断中的应用[J]. *中华放射学杂志*, 2002, 36(3):215-218.
- [15] KIM J H, NA D G, CHANG K H, et al. Serial MR analysis of early permanent and transient ischemia in rats; diffusion tensor imaging and high b value diffusion weighted imaging[J]. *Korean J Radiol*, 2013, 14(2):307-315.
- [16] MAKIKO K, KAZUAKI T, AKIKO M. Diffusionsgewichtete MRT - wie viele diffusionsfaktoren sind notwendig[J]. *Fortschr R? ntgenstr*, 2012, 184(4):303-310.
- [17] CHOU MC, TZENG WS, CHUNG HW, et al. T2-enhanced tensor diffusion trace-weighted image in the detection of hyper-acute cerebral infarction; Comparison with isotropic diffusion-weighted image [J]. *Eur J Radiol*, 2010, 74(3):90-95.
- [18] JIN H, ZHANG S, LIU S. Diagnosis value of several b-value diffusion-weighted MR imaging in acute cerebral infarction[J]. *J Clin Radiol*, 2012, 31(8):1091-1093.

(收稿日期:2017-10-17 修回日期:2017-12-29)

(上接第 1028 页)

- [13] HAN Z Y, ZHANG Y B, YANG Q Y, et al. miR-497 and miR-34a retard lung cancer growth by co-inhibiting cyclin E1 (CCNE1)[J]. *Oncotarget*, 2015, 6(15):13149-13163.
- [14] KOUTSAMI M K, TSANTOULIS P K, KOULOOUSSA M, et al. Centrosome abnormalities are frequent

ly observed in non-small-cell lung cancer and are associated with aneuploidy and cyclin E overexpression[J]. *J Pathol*, 2006, 209(4):512-521.

(收稿日期:2017-08-12 修回日期:2017-10-26)