

## MR diffusion imaging in diagnosis of femoral head necrosis

DONG Yue\*, WANG Yan, WANG Shao-wu, ZHENG Song-wen, JIANG Yuan,  
WANG Ru-xin, NING Dian-xiu, SONG Qing-wei  
(Department of Radiology, First Affiliated Hospital of Dalian Medical  
University, Dalian 116011, China)

**[Abstract]** **Objective** To assess the value of MR DWI in diagnosis and staging of femoral head necrosis. **Methods** Thirty-four patients with femoral head necrosis (40 hip joints) and 90 healthy volunteers (180 hip joints) were included. The patients were divided into 3 groups according to Steinberg stage (I—II of group 1, III—IV of group 2, V—VI of group 3). SE-EPI-DWI was performed to obtain images with b values of 300, 500 and 700 s/mm<sup>2</sup>, respectively. ADC maps were obtained with Functool software. ADC values of femoral head were measured using 100 mm<sup>2</sup> ROIs, and then were statistically analyzed. **Results** With b value of 300, 500 and 700 s/mm<sup>2</sup>, the mean ADC value of femoral head necrosis was (13.00±2.54)×10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s, (10.73±3.10)×10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s and (8.77±1.55)×10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s, respectively, while the mean ADC value of healthy femoral heads was (3.63±1.34)×10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s, (1.87±0.76)×10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s, (1.49±0.53)×10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s. There were significant statistical differences in ADC values of normal femoral head and femoral head necrosis (all P<0.05). ADC values of femoral head necrosis in group 1 were minimum, and were maximum in group 2, then reduced in group 3 (P<0.05). **Conclusion** DWI can display the femoral head necrosis clearly. ADC values contribute to distinguishing the normal and pathological regions of femoral head, as well as staging necrosis of the femoral head.

**[Key words]** Magnetic resonance imaging; Femoral head necrosis; Apparent diffusion coefficient

## MR 弥散加权成像诊断股骨头坏死

董 越\*, 王 琰, 王绍武, 郑沁文, 姜 原, 王茹欣, 宁殿秀, 宋清伟  
(大连医科大学附属第一医院放射科, 辽宁 大连 116011)

**[摘要]** **目的** 探讨 MR DWI 在股骨头坏死诊断及分期中的价值。**方法** 应用 MR SE-EPI-DWI 序列对 34 例股骨头坏死患者共 40 个髋关节[根据 Steinberg 分期分为 I~II 期(第 1 组)、III~IV 期(第 2 组)、V~VI 期(第 3 组)]及 90 名健康志愿者共 180 个髋关节进行图像采集, b 值分别选取 300、500、700 s/mm<sup>2</sup>。应用 Functool 软件进行分析, 得到 ADC 图。选取 ROI 为 100 mm<sup>2</sup>, 测量双侧股骨头的 ADC 值, 并进行统计学分析。**结果** b 值为 300、500、700 s/mm<sup>2</sup> 时, 股骨头坏死患者股骨头的 ADC 均值分别为 (13.00±2.54)×10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s、(10.73±3.10)×10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s、(8.77±1.55)×10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s, 正常股骨头的 ADC 均值分别为 (3.63±1.34)×10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s、(1.87±0.76)×10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s、(1.49±0.53)×10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s, 差异均有统计学意义(P 均<0.05)。第 1 组股骨头坏死区 ADC 值最小, 第 2 组 ADC 值最大, 而第 3 组 ADC 值又减小, 差异有统计学意义(P<0.05)。**结论** MR DWI 可以清晰显示股骨头坏死的病变区域, ADC 值对于区分正常及病变区域、指导股骨头坏死分期有一定价值。

**[关键词]** 磁共振成像; 股骨头坏死; 表观弥散系数

**[中图分类号]** R445.2; R681 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2012)02-0352-04

**[基金项目]** 国家自然科学基金(30801061)、辽宁省教育厅科学技术研究项目(2008155)。  
**[作者简介]** 董越(1976—), 女, 河北抚宁人, 博士, 副教授。研究方向: 骨骼肌肉系统影像诊断学。  
**[通讯作者]** 董越, 大连医科大学附属第一医院放射科, 116011。E-mail: dyy1026@sina.com  
**[收稿日期]** 2011-07-09 **[修回日期]** 2011-09-16

股骨头坏死是一种临床常见病,呈进行性发展,最终可导致股骨头塌陷、髋关节退行性改变,严重影响患者的生活质量。目前认为 MRI 是诊断股骨头坏死、评估分期及预后的最好方法,对早期股骨头坏死具有极高的敏感度及特异度。DWI 是一种敏感的 MR 功能性成像技术,可通过分析细胞内、外水分子跨膜运动功能状态的改变诊断和鉴别疾病,在中枢神经系统及腹部等处疾病的诊断中应用广泛。近年有学者应用 DWI 研究股骨头坏死患者的动物模型,发现 DWI 对于早期缺血敏感度很高<sup>[1-2]</sup>。本研究初步探讨 DWI 在股骨头坏死诊断及分期中的应用价值。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 收集 2010 年 8 月—2011 年 3 月我院确诊的股骨头坏死患者 35 例,其中 34 例 DWI 扫描成功,男 19 例,女 15 例,年龄 25~79 岁,平均(47.6±16.6)岁;病史 1 个月~34 年;1 例因技术原因和部分层面伪影过大而予以剔除,6 例为双侧坏死,共 40 个髋关节纳入研究。患者均有 X 线片检查资料,其中 15 例有 CT 检查资料,由 2 位骨放射医生结合影像资料进行 Steinberg 分期(0 期:平片与 MR 正常;I 期:平片正常,MR 出现异常;II 期:股骨头出现透光和硬化改变;III 期:软骨下塌陷,出现新月征,股骨头未变扁;IV 期:股骨头变扁;V 期:关节狭窄或髋臼病变;VI 期:严重退行性改变),并将 40 个股骨头分为 3 组:第 1 组:I~II 期,11 个;第 2 组:III~IV 期,16 个;第 3 组:V~VI,13 个。另选健康志愿者 90 名(共 180 个髋关节),男 42 名,女 48 名,年龄 24~78 岁,平均(57.3±14.5)岁。入选条件:①双侧髋关节发育对称、无髋关节疼痛症状,影像学排除髋关节疾病;②无外伤及手术史;③无代谢性骨病、肿瘤史。受检者在 MR 检查前均签署知情同意书。

**1.2 仪器与方法** 采用 GE Signa Excite 1.5T HD 超导型磁共振机;8 通道腹部线圈,开放 345 通道,扫描序列包括轴位和冠状位 T1W、脂肪抑制 T2W。DWI 应用 SE-EPI 序列进行图像采集,轴位扫描,b 值分别取 300、500、700 s/mm<sup>2</sup>,全方向弥散,FOV 为 32 cm×32 cm,层厚 5 mm,TR 3375 ms,TE 67.2 ms,带宽 125 kHz,矩阵 128×128,NEX 8,成像时间约 1 min 50 s。

**1.3 数据处理和分析** 由 2 名放射医生共同协商对图像进行后处理分析。将原始图像传至 GE AW 4.3 工作站,应用 Functool 中 DWI 软件进行后处理。调整阈值,生成 ADC 值伪彩图。测量健康志愿者股骨头的 ADC 值:选择 3 个显示股骨头最大的连续层面,

每个层面放置 2 个大小为 100 mm<sup>2</sup> 的 ROI,避开骨皮质。测量坏死股骨头的 ADC;在连续 3 个显示坏死区最大的层面上分别选取 2 个大小为 100 mm<sup>2</sup> 的 ROI,尽量选在 DWI 信号相对均匀的区域,避开 DWI 上的极高信号区和骨皮质,测量 6 次,取平均值。

**1.4 统计学分析** 采用 SPSS 16.0 软件,测量数据以  $\bar{x} \pm s$  表示。采用独立样本 *t* 检验比较股骨头坏死区及健康志愿者股骨头的 ADC 值,并运用方差分析比较股骨头坏死患者不同分期的 ADC 值差异。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 健康志愿者的股骨头 DWI 表现和 ADC 值** 不同 b 值下原始图像无明显几何变形。股骨头呈均匀低信号,在原始图像上无明显信号差别,部分髋关节间隙内可见少许正常滑液呈高信号。ADC 伪彩图显示股骨头区域为均匀的黑色(图 1)。b 值为 300、500、700 s/mm<sup>2</sup> 时,股骨头的 ADC 值分别为  $(3.63 \pm 1.34) \times 10^{-4}$  mm<sup>2</sup>/s、 $(1.87 \pm 0.76) \times 10^{-4}$  mm<sup>2</sup>/s、 $(1.49 \pm 0.53) \times 10^{-4}$  mm<sup>2</sup>/s。

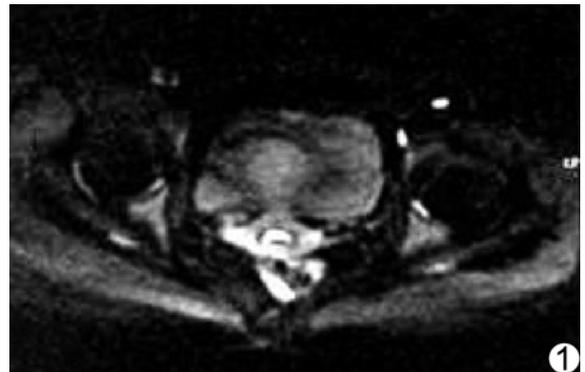


图 1 b 值为 700 s/mm<sup>2</sup> 时健康志愿者股骨头层面的 DWI 图像

**2.2 股骨头坏死患者的 DWI 表现** 不同 b 值下原始图像无明显几何变形;但随着 b 值增大,图像质量下降(图 2)。b=300 s/mm<sup>2</sup> 时,图像较清晰,可以清晰显示股骨头病变区、臀部肌肉及盆腔内组织;b=500 s/mm<sup>2</sup> 时,图像质量下降,但病变区域仍可显示,不影响疾病定位;b=700 s/mm<sup>2</sup> 时,图像质量下降明显,信噪比明显降低。

股骨头坏死区在 DWI 上表现为明显不均匀高信号,形态不规则,边缘欠清晰;部分病变范围较大,累及股骨颈。与常规序列相比,DWI 序列通常显示病变范围更大,其中常可见多个不规则极高信号区。部分

患者髋关节间隙内可见不同程度关节积液,呈明显高信号。

### 2.3 股骨头坏死区的 ADC 值

2.3.1 b 值为 300、500、700 s/mm<sup>2</sup> 时,股骨头坏死患者股骨头区的平均 ADC 值分别为 (13.00 ± 2.54) × 10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s, (10.73 ± 3.10) × 10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s, (8.77 ± 1.55) × 10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s, 明显高于正常股骨头 ADC 值 (P 均 < 0.01)。

2.3.2 Steinberg I 期、II 期股骨头坏死区 ADC 值较小, III 期及 IV 期最大, 而 V 期、VI 期又减小。不同分期股骨头坏死区的 ADC

值差异有统计学意义 (P < 0.05), 且当 b = 500 s/mm<sup>2</sup> 时差异最大(图 3)。b 值取 300、500、700 s/mm<sup>2</sup> 时, 第 1 组股骨头坏死区 ADC 值最小, 第 2 组最大, 第 3 组又减小, 差异均有统计学意义 (P < 0.05), 且当 b 值取 500 s/mm<sup>2</sup> 时差异最大(图 4)。

### 3 讨论

3.1 正常股骨头 DWI 特征 成人股骨头主要由松质骨骨小梁结构和其内的骨髓构成, 骨小梁结构富含钙盐等矿物质, 几乎不含水分子, 故不对 DWI 的信号和 ADC 值产生影响, 真正影响 DWI 信号和 ADC 值的是股骨头内的骨髓成分。成人股骨头的主要成分为以脂肪为主的黄骨髓, 仅含有少许造血组织, 其内自由水含量极少, DWI 采集的信号非常有限, 因此正常股骨头在原始图像上为低信号, ADC 值也处在较低水平。本研究测得正常股骨头的 ADC 均值范围为 1.49 × 10<sup>-4</sup>

~3.63 × 10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s, 而 Hong 等<sup>[3]</sup>在 b = 1000 s/mm<sup>2</sup> 时测得正常股骨头的 ADC 值为 4.7 × 10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s, 差异可能与脉冲序列不同有关。国外学者<sup>[4-6]</sup>关于正常骨髓 ADC 值的研究主要集中在椎体, 受所用 MR 设备不同、DWI 脉冲序列及 b 值不同等因素的影响, 获得的正常骨髓 ADC 值有一定波动, 范围为 1.0 × 10<sup>-4</sup> ~ 4.4 × 10<sup>-4</sup> mm<sup>2</sup>/s。

3.2 股骨头坏死的 DWI 特征 诊断股骨头坏死主要依靠常规序列, 其特征性表现为 T1WI 上软骨下局限性的带状低信号以及 T2WI 上的“双边征”, 即外缘为低信号, 内缘为高信号, 病理研究发现外缘代表反应骨, 内缘代表坏死和正常骨组织交界面上的血管和修复组织。DWI 序列检出股骨头坏死较常规序列敏感, 但对于 ADC 值的具体变化特征还存在一定争议<sup>[7-10]</sup>。有学者<sup>[10]</sup>在动物实验中发现股骨头坏死超急性期

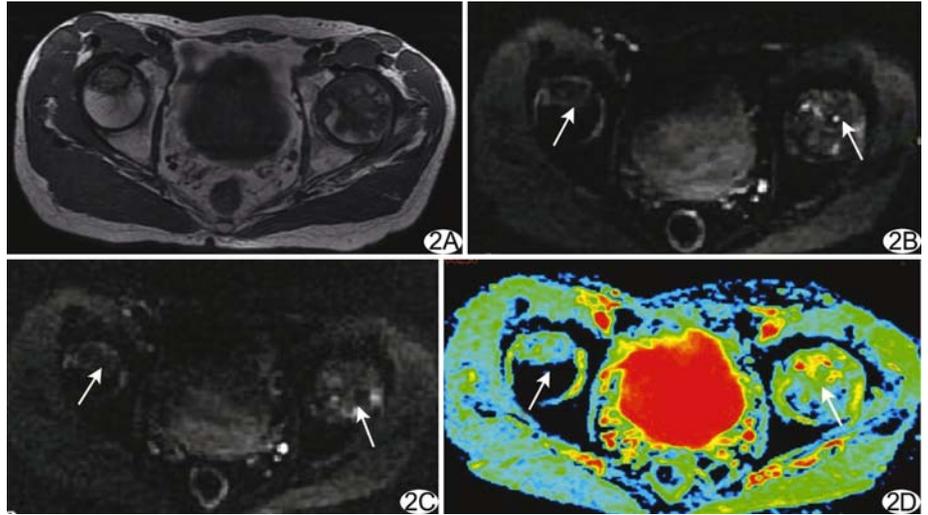


图 2 股骨头坏死 MR DWI 图像 A. 轴位 T1WI; B~C. b 值取 500 s/mm<sup>2</sup>、700 s/mm<sup>2</sup> 时 DWI 图像; D. b 值取 700 s/mm<sup>2</sup> 时 ADC 图 (箭示股骨头坏死区)

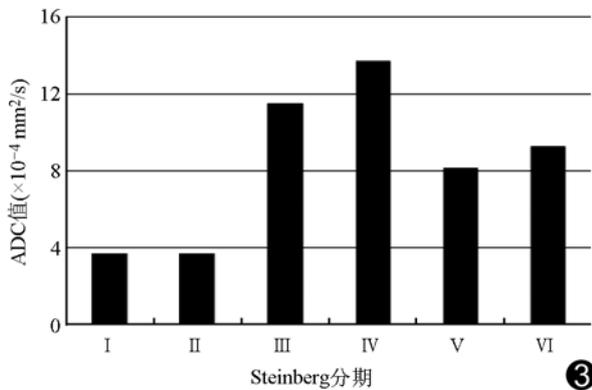


图 3 b 值为 500 s/mm<sup>2</sup> 时不同 Steinberg 分期股骨头坏死区 ADC 值

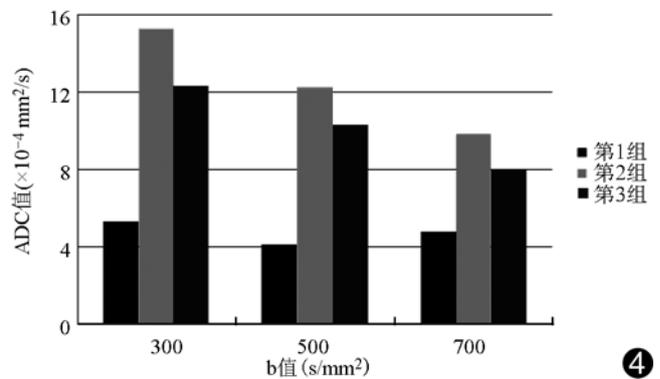


图 4 不同 Steinberg 分期股骨头坏死不同 b 值下测得的股骨头

ADC 值降低,之后 ADC 值明显并且持续升高,因此认为急性缺血后 ADC 值的变化也许可以反映缺血坏死的发展过程。本研究发现 DWI 序列上股骨头坏死区信号强度明显高于正常股骨头,坏死区 ADC 值也高于正常股骨头,与之前的研究结果一致。病理学研究发现,在股骨头坏死和增生反应区域,坏死组织、肉芽修复组织代替黄骨髓成分,其含水量较高<sup>[11]</sup>,故在 DWI 上股骨头坏死区信号增高,ADC 值也明显增高。Menezes 等<sup>[1]</sup>认为异常增厚的软骨、骨组织内的软骨岛及缺血股骨内的黄骨髓减少可以解释 ADC 值增高,因为软骨比骨有更高的弥散值。Kim 等<sup>[9]</sup>通过动物模型研究发现,股骨头骨骺坏死的病理表现是纤维血管组织消融及取代了干骺端的正常骨组织,这种组织也可以导致 ADC 值增高。

3.3 股骨头坏死区 ADC 值与分期关系 1987 年 Mitchell 等根据常规序列 MRI 信号特点将股骨头坏死分为 4 型:A 型,脂样型,T1WI 高信号、T2WI 等信号,可认为是早期阶段,坏死区以黄骨髓成分为主,尚未发生大量毛细血管增生间充质细胞浸润;B 型,血样型,T1WI 高信号、T2WI 高信号,表示坏死区有大量毛细血管增生;C 型,液样型,T1WI 低信号、T2WI 高信号,表示坏死组织水肿,黄骨髓中的脂质被肉芽组织及纤维组织代替;D 型,纤维型,T1WI 低信号、T2WI 高信号,表示坏死区完全被纤维组织或硬化骨组织代替。本研究对股骨头坏死患者根据 Steinberg 分期进行分组,发现第 1 组坏死区 ADC 值较小,第 2 组坏死区 ADC 值最大,第 3 组坏死区 ADC 值又减小。结合股骨头坏死组织学研究,可以推测 I ~ II 期是早期阶段,坏死区仍以黄骨髓成分为主,尚未发生大量毛细血管增生间充质细胞的浸润,对应 Mitchell A 型,因此 ADC 值处在较低水平;III ~ IV 期坏死区面积较大,处于修复旺盛阶段,有骨髓组织坏死、骨髓水肿、大量毛细血管增生及间充质细胞的浸润,对应 Mitchell B 型和 C 型,因此 ADC 值处在高水平;V ~ VI 期坏死区 ADC 值降低,表示坏死区被纤维组织或硬化骨组织代替,对应 Mitchell D 型。由于本研究为临床研究,未能获得病理学标本,无法对股骨头坏死区域的 ADC 值变化与组织学变化进行精确比较;且病例数较少,统计学处理上存在一定偏倚,有关具体缺血时间与 ADC

值变化的对应关系有待进一步研究。

总之,MR DWI 可以清晰显示股骨头坏死的病变区域,ADC 值对于区分正常及病变区域、指导股骨头坏死分期有一定价值。

#### [参考文献]

- [1] Menezes NM, Connolly SA, Shapiro F, et al. Early ischemia in growing piglet skeleton: MR diffusion and perfusion imaging. *Radiology*, 2007,242(1):129-136.
- [2] Merlini L, Combescure C, De Rosav, et al. Diffusion-weighted imaging findings in Perthes disease with dynamic gadolinium-enhanced subtracted (DGS) MR correlation: A preliminary study. *Pediatr Radiol*, 2010,40(3):318-325.
- [3] Hong N, Du X, Nie Z, et al. Diffusion-weighted MR study of femoral head avascular necrosis in severe acute respiratory syndrome patients. *J Magn Reson Imaging*, 2005,22(5):661-664.
- [4] Chan JH, Peh WC, Tsui EY, et al. Acute vertebral body compression fractures: Discrimination between benign and malignant causes using apparent diffusion coefficients. *Br J Radiol*, 2002,75(891):207-214.
- [5] Pui MH, Mitha A, Rae WI, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging of spinal infection and malignancy. *J Neuroimaging*, 2005,15(2):164-170.
- [6] Yeung DK, Wong SY, Griffith JF, et al. Bone marrow diffusion in osteoporosis: Evaluation with quantitative MR diffusion imaging. *J Magn Reson Imaging*, 2004,19(2):222-228.
- [7] Axer H, Grassel D, Bramer D, et al. Time course of diffusion imaging in acute brainstem infarcts. *J Magn Reson Imaging*, 2007,26(4):905-912.
- [8] Kremer S, Oppenheim C, Schmitt E, et al. Diffusion MRI: Technique and clinical applications. *J Radiol*, 2007,88(3 Pt 2):428-443.
- [9] Kim HK, Su PH. Development of flattening and apparent fragmentation following ischemic necrosis of the capital femoral epiphysis in a piglet model. *J Bone Joint Surg Am*, 2002,84(8):1329-1334.
- [10] Li X, Qi J, Xia L, et al. Diffusion MRI in ischemic epiphysis of the femoral head: an experimental study. *J Magn Reson Imaging*, 2008,28(2):471-477.
- [11] Jaramillo D, Connolly SA, Vajapeyam S, et al. Normal and ischemic epiphysis of the femur: Diffusion MR imaging—study in piglets. *Radiology*, 2003,227(3):825-832.