

## • 骨骼肌肉影像学 •

# 体素内不相干运动扩散加权成像诊断强直性脊柱炎活动性骶髂关节炎的价值

杨陈, 郭达, 刘艳, 敬宗林

**【摘要】目的:**探讨体素内不相干运动扩散加权成像(IVIM-DWI)在诊断强直性脊柱炎(AS)活动性骶髂关节炎中的价值。**方法:**根据 ESR、CRP、Bath 强直性脊柱炎病情活动指数(BASDAI)评分将符合纳入标准的 49 例 AS 患者分为活动期组(21 例)和稳定期组(28 例)。对照组为 28 名健康志愿者。分析对比 3 组间 MRI 图像、IVIM-DWI 相关参数,采用单因素方差分析 3 组间纯水分子扩散系数(D),灌注相关的伪扩散系数( $D^*$ )以及灌注分数(f)。采用 Mann-Whitney U 检验分析稳定组及活动组间的年龄、BASDAI 评分、ESR 及 CRP。绘制 ROC 曲线,比较各参数值的曲线下面积以评定其诊断效能。**结果:**稳定组及活动组间的年龄差异无统计学意义( $P>0.05$ ),活动组 BASDAI 评分、ESR 及 CRP 高于稳定组,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。三组间 D 值差异有统计学意义( $P<0.05$ )。活动组  $D^*$  值高于稳定组、对照组,且差异有统计学意义( $P<0.05$ );稳定组与对照组间  $D^*$  值差异无统计学意义( $P>0.05$ )。活动组 f 值高于稳定组、对照组,且差异有统计学意义( $P<0.05$ );稳定组与对照组间  $D^*$  值差异无统计学意义( $P>0.05$ )。对比 3 个参数在各组间的 ROC 曲线下面积,其中 D 值的曲线下面积(AUC)最大,其敏感度及特异度最高。活动组与稳定组间 D 值的临界值为  $0.42 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ (AUC 0.870、敏感度 83.8%、特异度 74.8%),活动组与对照组间 D 值临界值为  $0.38 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ (AUC 0.923、敏感度 89.2%、特异度 85.3%)。**结论:**IVIM-DWI 对 AS 骶髂关节炎活动性的诊断具有可行性,其中 D 值是最具价值的参数。

**【关键词】** 脊柱炎, 强直性; 骶髂关节炎; 活动性; 磁共振成像

**【中图分类号】** R593.23; R684.3; R445.2 **【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1000-0313(2018)10-1057-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.10.016 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



**The evaluation of active sacroiliitis in ankylosing spondylitis with intravoxel incoherent motion diffusion weighted imaging** YANG Chen, GUO Da, LIU Yan, et al. The Affiliated Hospital of Chuanbei Medical College, Sichuan 637000, China

**【Abstract】 Objective:** To explore the value of intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging (IVIM-DWI) in evaluating the active sacroiliitis in ankylosing spondylitis (AS). **Methods:** 49 patients with AS who met the inclusion criteria were divided into active group (21 cases) and stable group (28 cases) according to ESR, CRP and bath ankylosing spondylitis disease activity index (BASDAI) score. 28 healthy volunteers were selected as the control group. MRI images and IVIM-DWI parameters of three groups were compared. The diffusion coefficient (D), the pseudo-diffusion coefficient ( $D^*$ ) and the perfusion fraction (f) of three groups were analyzed by one-way ANOVA. The ages, BASDAI scores, ESR and CRP of the stable and active groups were analyzed by Mann-Whitney U test. The receiver operating characteristic (ROC) curve was used to evaluate the value of above parameters in evaluation the activity of sacroiliitis in AS. **Results:** There was no significant difference in the age between the stable group and the active group ( $P>0.05$ ). BASDAI scores, ESR and CRP of activity group were higher than the stable group ( $P<0.05$ ). There was statistically significant of D value among the three groups ( $P<0.05$ ).  $D^*$  value of active group was higher than that of the stable group

作者单位:637000 四川,川北医学院附属医院(杨陈、郭达、刘艳、敬宗林);四川,成都市第三人民医院(杨陈)

作者简介:杨陈(1990—),女,四川安岳人,硕士,住院医师,主要从事体部 CT 与 MRI 诊断工作。

通讯作者:敬宗林,E-mail:jzl325@163.com

and the control group ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference of  $D^*$  value between stable group and control group ( $P > 0.05$ ). The  $f$  value of active group was higher than the stable group and the control group ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference of  $f$  value between stable group and control group ( $P > 0.05$ ). Compared the area under the ROC curve (AUC) of three parameters among groups, the AUC of  $D$  value was largest and the sensitivity and specificity of  $D$  value were highest. The critical  $D$  value between active group and stable group was  $0.42 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  (AUC 0.870, sensitivity 83.8%, specificity 74.8%). The critical  $D$  value between active group and control group was  $0.38 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  (AUC 0.923, sensitivity 89.2%, specificity 85.3%). **Conclusion:** IVIM-DWI is feasible for the evaluation of the activity of sacroiliac arthritis in AS, and the most valuable parameter was  $D$  value.

**【Key words】** Spondylitis, ankylosing; Sacroiliitis; Activity; Magnetic resonance imaging

强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)是一种以侵犯中轴关节为主的自身免疫性慢性非特异性炎性病变。AS 的发展是一个慢性迁延、低度炎症反应和高度炎症反应交替发作的过程,表现为稳定期和活动期。活动性骶髂关节炎的特点是增生性炎症组织破坏软骨和骨骼<sup>[1]</sup>。活动期患者临床症状加重,并加快病情向晚期发展,故对病情活动性的判断、对炎症的干预阻断至关重要。长期以来,众多研究者致力于探索影像判断 AS 活动期的可行性及精确性,并分析其形态学及微观环境的变化,以期为临床提供更多、更可靠的影像学依据。体素内不相干运动扩散加权成像(intravoxel incoherent motion-diffusion weighted imaging, IVIM-DWI)由多  $b$  值参与双指数模型计算,能够分离出纯水分子所致的真性扩散及灌注所致的伪扩散<sup>[2]</sup>,从水分子扩散和微循环两方面分析病灶微观环境的变化。IVIM-DWI 在骨肌系统应用还处于探索阶段,在 AS 中的应用较少。本实验旨在通过对 IVIM-DWI 参数的分析,探讨 IVIM-DWI 对于诊断 AS 骶髂关节炎活动性的可行性及价值。

## 材料与方法

### 1. 研究对象

实验组:搜集本院 2016 年 5 月—2017 年 2 月风湿免疫科门诊及住院 AS 患者共 49 例(其中男 39 例,女 10 例),年龄 16~59 岁,平均年龄( $33.92 \pm 10.89$ )岁。纳入标准:①符合 2009 年的 AS 诊断标准<sup>[3]</sup>;②无风湿润病、肿瘤病史,近期无外伤、感染;③无磁共振扫描禁忌证。分组方法:入选患者综合 ESR、CRP 和 Bath 强直性脊柱炎病情活动指数(bath ankylosing spondylitis disease activity index, BASDAI)评分分为活动期组和稳定期组。由风湿免疫科主治医师及患者本人对患者过去一周的疲劳,脊柱痛,外周关节痛,局限性压痛,晨僵时间和程度 5 大症状的 6 个项目进行评分<sup>[4]</sup>,取两者评分的平均数作为最终评分。BASDAI 评分 $\leq 4.0$  为稳定;平均分 $\geq 6$  为活动<sup>[5]</sup>;平均分

在 4~6 分之间者,则需要参考实验室指标,若血沉(ESR) $\geq 30 \text{ mm}/\text{h}$ (魏氏法)或 C-反应蛋白(CRP) $\geq 20 \text{ mg}/\text{L}$  认为病情处于活动期,否则认为病情稳定期<sup>[6]</sup>。按上述标准分组,活动组 21 例,稳定组 28 例。对照组:28 名健康志愿者,其中男 18 例,女 10 例,年龄 19~40 岁,平均( $25.50 \pm 4.28$ )岁。对照组入选标准:无风湿润病史,无肿瘤病史,无腰骶部疼痛史,无金属植入物及心脏起搏器。对照组扫描序列、方法及部位与病变组一致。所有实验对象均在 BASDAI 评分和实验室检查 1 周内完成 MRI 检查。所有被检查者均知情同意。

### 2. 磁共振检查技术

采用美国 GE 3.0 T MRI (Discovery MR750) 扫描仪,32 通道体部相控阵线圈,扫描时加腹带及呼吸门控。受检查者均行双侧骶髂关节轴面 FSE-T<sub>1</sub> WI (TE 9.4 ms, TR 500 ms, 矩阵  $320 \times 256$ , 激励次数 2, 视野  $40 \text{ mm} \times 28 \text{ mm}$ , 层厚 5 mm, 层间距 0.5 mm);轴面 FS-T<sub>2</sub> WI(TE 92 ms, TR 2675 ms, 矩阵  $320 \times 256$ , 激励次数 2, 视野  $40 \text{ mm} \times 28 \text{ mm}$ , 层厚 5 mm, 层间距 0.5 mm);轴面 DWI(TE 50.1 ms, TR 3225 ms, 矩阵  $128 \times 192$ , 视野  $32 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ , 层厚 5 mm, 层间距 1 mm);选取 11 个  $b$  值(0、20、30、50、80、100、150、200、400、600、800  $\text{s/mm}^2$ ),为提高图像信噪比,NEX 分别为 8、8、6、6、4、4、4、6、8。

### 3. 图像后处理

使用 GE AW 4.4 工作站和 Function-MADC 软件处理所采集的 DWI 图像。在 DWI 图像上进行数据测量,记录相关参数,包括纯水分子扩散系数(true diffusion coefficient,  $D$ ),灌注相关的伪扩散系数(pseudo-diffusion coefficient,  $D^*$ )以及灌注分数(perfusion fraction,  $f$ ),并自动生成相应的伪彩图。感兴趣区(region of interest, ROI)的放置:参照 FS-T<sub>2</sub> WI 及高  $b$  值( $b=800 \text{ s/mm}^2$ )时的 DWI 图像来观察病灶,以便确定 ROI 放置的位置,ROI 放置在病灶的最大层面,距离病灶边缘 $>1\text{mm}$ ,避开骨皮质、血

管、骨质破坏区、囊变区及硬化区,若病灶多于等于 4 个则选取 4 个病灶放置 ROI,如果少于 4 个病灶,有几处就测几处,然后计算平均值;若肉眼观察上述序列无异常信号,则选择骶髂关节最大层面分别将 ROI 放置在双侧骶髂关节骶侧、髂侧中央区(共 4 个区,取其平均值)。由两名放射科医生采用双盲法阅片并进行 ROI 选取放置,最后取两次测得数据的平均值,ROI 面积为 20~138 mm<sup>2</sup>。

#### 4. 统计学方法

采用 SPSS 13.0 软件进行数据分析。采用单因素方差分析 3 组 IVIM 相关参数(D、D\*、f),以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示。采用 Mann-Whitney U 检验分析稳定组及活动组间的年龄、BASDAI 评分、ESR 及 CRP,以中位数±四分位数间距表示。绘制受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC),比较各参数值的曲线下面积(area under curve, AUC)以评定各参数值诊断效能。 $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。

### 结 果

#### 1. 常规 MRI 表现

双侧或单侧关节面下骨髓水肿 18 例(图 1)。脂肪沉积 20 例,骨质硬化 12 例,关节面毛糙 23 例(图 2),其中 3 例患者出现不全性骶髂关节强直。28 例对照组双侧骶髂关节面光滑,骨髓信号均匀,各扫描序列

未见确切异常信号影。

#### 2. 患者年龄、BASDAI 评分、ESR 及 CRP 的比较

Mann-Whitney U 检验比较稳定组及活动组间的年龄、BASDAI 评分、ESR 及 CRP 的差异,结果显示两组间年龄差异无统计学差异( $P > 0.05$ ),而 BASDAI 评分、ESR 及 CRP 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )(表 1)。

表 1 活动组与稳定组年龄、BASDAI 评分、ESR 及 CRP 比较

组别	活动组	稳定组	Z 值	P 值
年龄(岁)	28.00±21.5	34.00±19.5	0.23	0.816
BASDAI 评分(分)	6.70±1.40	2.70±1.90	5.94	0.000
ESR(mm/1h)	38.00±49.70	18.4±23.46	2.80	0.005
CRP(mg/L)	27.3±34.55	5.47±6.48	3.37	0.001

#### 3. IVIM-DWI 相关参数分析

本研究结果显示活动组 D 值高于稳定组、对照组,且差异有统计学意义( $P$  值分别为 0.000、0.000);稳定组 D 值高于对照组,差异有统计学意义( $P = 0.028$ )。活动组 D\* 值高于稳定组、对照组,且差异有统计学意义( $P$  值分别为 0.002、0.000);稳定组与对照组间 D\* 值差异无统计学意义( $P = 0.267$ )。活动组 f 值高于稳定组、对照组,且差异有统计学意义( $P$  值分别为 0.000、0.000);稳定组与对照组间 D\* 值差异无统计学意义( $P = 0.220$ ,表 2)。

#### 4. ROC 曲线分析

根据 ROC 曲线来描述 IVIM-DWI 参数的诊断效能。对于活动性的鉴别,D 值的诊断效能最高,AUC、

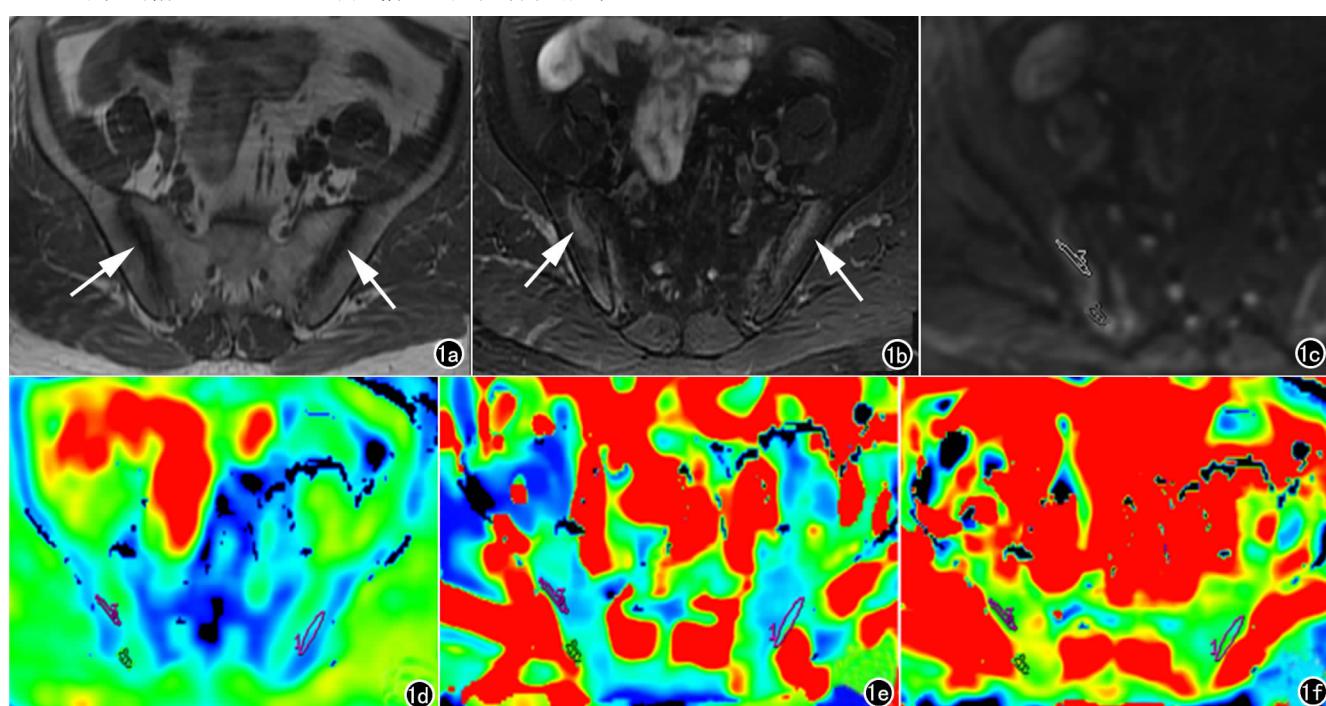


图 1 AS 活动期骶髂关节 MRI 图像。a) T<sub>1</sub>WI 横轴面图像示关节面下骨髓水肿呈稍低信号(箭);b) FS-T<sub>2</sub>WI 横轴面图像示关节面下骨髓水肿呈高信号(箭);c) DWI( $b=800\text{s/mm}^2$ )图示骨髓水肿呈高信号;d~f) 3 个 ROI 的平均值。d) D 值  $0.74 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ ; e) D\* 值  $9.71 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ ; f) f 值 13.6%。

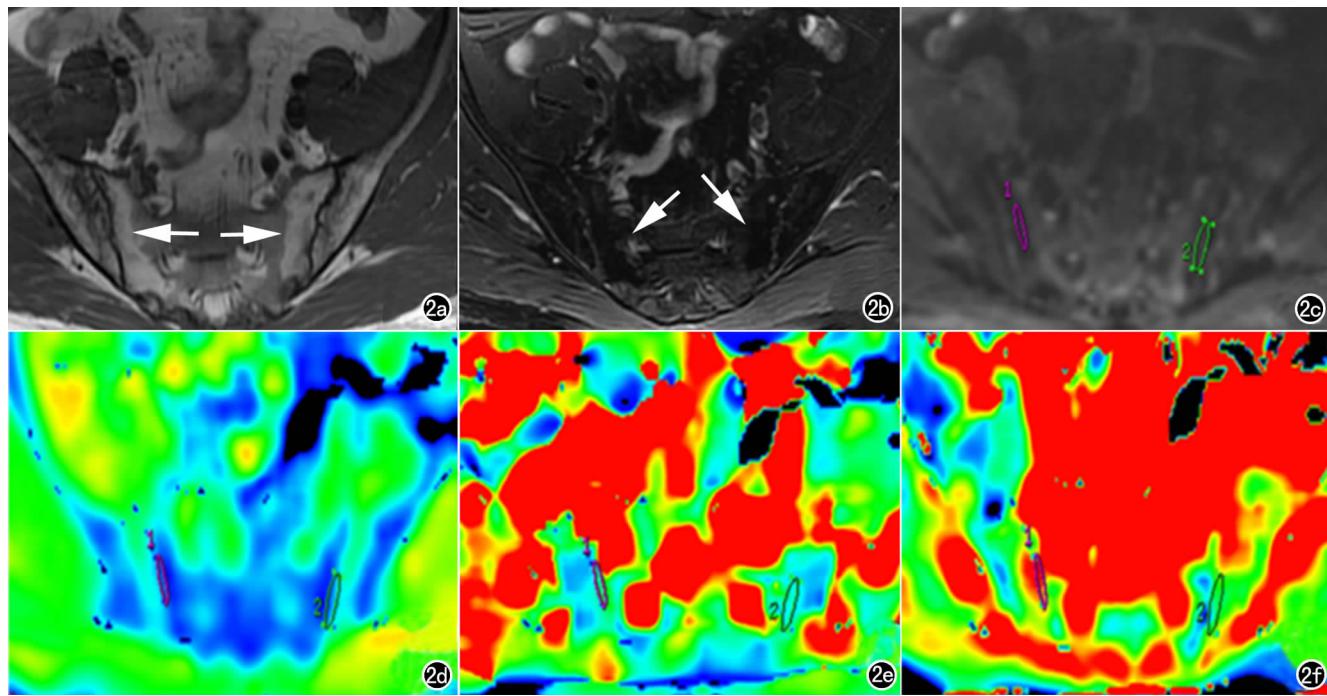


图 2 AS 稳定期骶髂关节 MRI 图像。a)  $T_1$ WI 横轴面图像示关节面下脂肪沉积呈高信号(箭); b) FS- $T_2$ WI 横轴面图像示关节面下脂肪沉积呈低信号(箭); c) DWI( $b=800\text{s}/\text{mm}^2$ )图示脂肪沉积呈稍低信号;d~f) 2 个 ROI 的平均值。d) D 值  $0.40 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ; e)  $D^*$  值  $8.18 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ; f) f 值 10.75%。

表 2 三组 IVIM 参数(D、 $D^*$ 、f 值)比较

组别	活动组	稳定组	对照组
D( $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ )	$0.72 \pm 0.29^{\# *}$	$0.35 \pm 0.16^*$	$0.29 \pm 0.08$
$D^*$ ( $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ )	$5.79 \pm 3.58^{\# *}$	$4.38 \pm 2.48$	$3.94 \pm 2.88$
f(%)	$13.56 \pm 5.46^{\# *}$	$9.68 \pm 3.18$	$10.38 \pm 4.23$

注: VS 稳定组,  ${}^{\#} P < 0.05$ ; VS 对照组,  ${}^{*} P < 0.05$ 。活动组 D 值高于稳定组、对照组(P 值分别为 0.000、0.000);稳定组 D 值高于对照组( $P=0.028$ );活动组  $D^*$  值高于稳定组、对照组(P 值分别为 0.002、0.000);稳定组与对照组间  $D^*$  值差异无统计学意义( $P=0.267$ );活动组 f 值高于稳定组、对照组(P 值分别为 0.000、0.000);稳定组与对照

组间 f 值差异无统计学意义( $P=0.220$ )。

敏感度及特异度最高。活动组与稳定组间 D 值的临界值为  $0.42 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  (AUC 0.870、敏感度 83.8%、特异度 74.8%, 表 3、图 3), 活动组与对照组间 D 值临界值为  $0.38 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  (AUC 0.923、敏感度 89.2%、特异度 85.3%)。活动组与对照组间 D \*、f 值和稳定组与对照组间 D 值的 AUC 均  $< 0.7$ 。

表 3 活动组与稳定组之间 D、 $D^*$ 、f 值 ROC 曲线分析

参数	AUC	临界值	敏感度	特异度
D	0.870	0.42	83.80	74.80
$D^*$	0.617	5.11	59.50	64.50
f	0.718	11.3	59.50	69.20

注: 临界值 D( $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ),  $D^*$  ( $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ), f(%); 敏感度 (%), 特异度 (%).

## 讨 论

AS 是一种慢性非特异性炎性病变, 活动期主要体现炎症对骨及软骨等的破坏过程, 加快病情向不可逆方向发展; 炎症介质等刺激邻近的神经, 加重患者的临床症状。延缓病情进展的关键是对炎症及时的诊断和控制。目前临床主要综合相关实验室检查及患者的症状、体征对 AS 的活动性进行评估。AS 活动期时血小板计数、ESR、CPR、IgA 均可出现升高的改变<sup>[7]</sup>, ESR、CRP 常作为临幊上观察活动性的实验室指标。各种根据患者临床症状及体征的评分表对 AS 活动性评价也是有一定帮助的, 其中 Garret 等<sup>[8]</sup>提出的 BASDAI 评分表在临幊上应用较广泛。

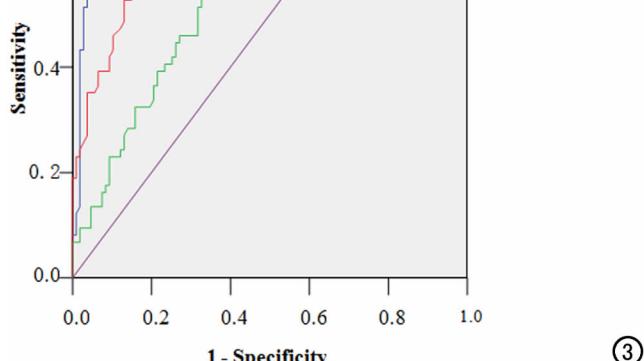


图 3 稳定组与活动组之间 D、 $D^*$ 、f 值 ROC 曲线

相比于传统的 X 线、CT 而言, MRI 在显示软骨破坏、脂肪沉积和骨髓水肿方面有着明显的优势。一些常规的 MRI 序列可观察急性炎症引起的骨髓水肿,如 FS-T<sub>2</sub>WI、STIR 等。功能磁共振序列 DWI 对骶髂关节骨髓水肿的显示敏感,局部水分子的增加引起的信号改变及 ADC 值的变化可作为 AS 活动性评价的可靠手段<sup>[9-10]</sup>。然而生物体内的扩散是个复杂的过程,DWI 所得的水分子扩散信息还包含了毛细血管灌注引起的假扩散信息,这就使得常规单指数模型所得的表观扩散系数(ADC)高于实际水分子的扩散系数<sup>[11]</sup>。LeBihan 等<sup>[2]</sup>提出的 IVIM 分离了纯水分子引起的真扩散和灌注引起的假扩散。IVIM-DWI 已逐步应用于骨的相关研究<sup>[12-16]</sup>。

本研究中 AS 活动组 D 值高于稳定组及对照组,差异有统计学意义。D 值主要反映组织水分子扩散信息,活动组 D 值增高,这主要是因为活动期炎症处于高度反应状态,软骨下骨髓水肿,微血管通透性增加,细胞外间隙自由水增多,水分子扩散增强所致。上述结果与 Zhao 等<sup>[17]</sup>研究结果一致,也与以往研究 AS 活动期 ADC 值的变化相符<sup>[10,18]</sup>。本研究中活动组 D 值为  $(0.72 \pm 0.29) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ , 小于 Zhao 等<sup>[17]</sup>AS 活动组 D 值  $[(0.99 \pm 0.39) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}]$ , 分析其原因可能:①本研究使用的是 3.0T 超高场强磁共振,且使用的 b 值不同,设备及参数等的不同会影响数据的测量。②本次研究中多数 AS 患者病程较长,且经过药物治疗,骶髂关节骨髓不同程度脂肪沉积在一定程度上会影响局部水分子的扩散。③其次是本次研究中活动组中有部分患者没有出现明显的骨髓水肿病灶。

本研究结果显示活动组 D\* 值高于稳定组、对照组,差异有统计学意义。D\* 值主要反映微循环灌注所致的扩散信息。AS 活动期时在各种炎症因子的刺激下,血管翳增多,局部血流量有增加,且新生的毛细血管管壁发育不成熟,通透性较大,这也进一步说明 AS 活动期局部微循环发生了改变。这与以往 DCE-MRI 评估 AS 活动性的结果一致,AS 活动期 K<sub>trans</sub>、K<sub>ep</sub> 显著升高,这两个参数是评估微血管通透性的定量参数<sup>[19-20]</sup>。相比于需要外源性造影剂的 DCE-MRI,IVIM 根据分子运动引起的信号变化实现成像,免去了对比剂带来的经济负担及危害。本次研究中活动组 f 值高于稳定组及对照组,差异有统计学意义。活动组 f 值升高,表明灌注所致扩散效应占总体扩散效应的比例增加,这也进一步证实了 AS 活动期局部灌注是有增加的。而稳定组与对照组间 D\* 及 f 值差异无统计学意义。分析原因可能是随着炎症的发展,稳定期主要表现为肉芽组织形成、骨质硬化及脂肪沉积等慢性修复改变,炎症处于低度反应状态,甚至有些

患者可能不残留炎症,局部血管翳增加不明显,微循环改变不明显,更接近正常人;其次是本次研究所选的对照组志愿者年龄集中在 25 岁左右,小于病变组,骨髓内造血组织与脂肪含量比例会存在一定差别,且稳定组患者多数有脂肪沉积改变。研究表明脂肪含量会对灌注的测量产生一定的影响<sup>[21]</sup>。

**ROC 曲线分析:**本研究结果显示 D 值鉴别活动组与稳定组、对照组的临界值分别为  $0.42 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  和  $0.38 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ , 其 AUC 最大, 分别为 0.870、0.923, 均  $>0.7$ , 可以认为 D 值在鉴别 AS 活动性中诊断效能最大, 并且在鉴别 AS 活动性时 D 值的敏感度和特异度最高。D 值主要反映纯分子扩散信息, AS 活动期时局部骨髓水肿, 血管通透性增大, 渗出到细胞间隙的水分子明显增加, 致水分子扩散改变明显。由于本研究中稳定组与对照组间 D 值重叠太大, 故鉴别稳定组与对照组时 D 值诊断价值不大。虽然活动组与稳定组、对照组间 f 及 D\* 值差异有统计学意义, 但其 AUC 均在 0.7 左右, 有些甚至低于 0.7, 对活动性的诊断价值有限。分析其原因, 可能为炎症时局部微循环有增加, 但骨髓是少血供组织, 微循环灌注的改变不如细胞外间隙明显增多的水分子引起的扩散增加明显。

b 值的选择对 DWI 图像质量和数据测量至关重要。IVIM-DWI 要求多个 b 值拟合参与计算, 目前没有最优的 b 值组合, 理论上是 b 值越多, 准确性越高, 但扫描时间也会延长。临床实际工作中一般选择 b 值为 10 个左右, 高 b 值测得的数据稳定性和可重复性较好, 可以少选几个, 低 b 值测量的数据稳定性和可重复性较差, 为了更好的拟合生成相关参数, 对低 b 值的选择一般要多一些<sup>[22]</sup>。目前多数学者认为 b 值为 600 s/mm<sup>2</sup> 时骶髂关节解剖、骨髓水肿显示清晰, 且 DWI 图像质量清晰, 所测 ADC 值较稳定<sup>[23-24]</sup>。本研究选择的 b 值为 0、20、30、50、80、100、150、200、400、600、800 s/mm<sup>2</sup>, 低 b 值有 7 个(包括 b=0 s/mm<sup>2</sup>), 高 b 值有 4 个, 对骨髓水肿的显示比较敏感, 其中个别患者 b=800 s/mm<sup>2</sup> 时图像稍变形, 其余 b 值情况下图像质量清晰。

本研究尚有不足之处:AS 患者样本量较少, 尤其是活动期有明显骨髓水肿病灶的数量不足, 下一步的研究将加大样本量; 本研究使用了 IVIM-DWI 双指数模型鉴别 AS 活动性, 未和单指数模型、拉伸指数、DCE-MRI 等方法比较, 研究模式相对单一, 这也将是今后研究的一个方向。

IVIM-DWI 能有效、无创地反映 AS 活动期骶髂关节炎水分子扩散及微循环灌注状态, D 值、D\* 值及 f 值有助于对 AS 活动性的诊断, 其中 D 值的诊断效能

最高。

## 参考文献:

- [1] Hermann KG, Bollow M. Magnetic resonance imaging of sacroiliitis in patients with spondyloarthritis: correlation with anatomy and histology[J]. *Rofo*, 2014, 186(3):230-237.
- [2] Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, et al. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders[J]. *Radiology*, 1986, 161(2):401-407.
- [3] Sieper J, Rudwaleit M, Baraliakos X, et al. The assessment of spondylo arthritis international society (ASAS) handbook: a guide to assess spondyloarthritis[J]. *Ann Rheum Dis*, 2009, 68(Suppl 2):ii1-44.
- [4] Lukas C, Landewe R, Sieper J, et al. Development of an ASAS-endorsed disease activity score (ASDAS) in patients with ankylosing spondylitis[J]. *Ann Rheum Dis*, 2009, 68(1):18-24.
- [5] Spoorenberg A, van Tubergen A, Landewe R, et al. Measuring disease activity in ankylosing spondylitis: patient and physician have different perspectives[J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2005, 44(6):789-795.
- [6] Wang NS. Ankylosing spondylitis[M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 2009:86-88.
- [7] 范仰钢,李国华. 多个炎症指标在强直性脊柱炎活动性评价中的价值[J]. 实用临床医学,2006,7(1):18-20,23.
- [8] Garrett S, Jenkinson T, Kennedy LG, et al. A new approach to defining disease status in ankylosing spondylitis: the bath ankylosing spondylitis disease activity Index[J]. *J Rheumatology*, 1994, 21(12):2286-2291.
- [9] Sanal HT, Yilmaz S, Simsek I, et al. Apparent diffusion coefficients of sacroiliitis in patients with established ankylosing spondylitis[J]. *Clin Imaging*, 2013, 37(4):734-739.
- [10] 牛富业,箫毅,邹薇薇,等. 3.0T MRI 扩散加权成像对强直性脊柱炎活动性骶髂关节炎的诊断价值[J]. 实用放射学杂志,2015, 31(4):616-620.
- [11] Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, et al. Separation of diffusion and perfusion in intravoxel incoherent motion MR imaging[J]. *Radiology*, 1988, 168(2):497-505.
- [12] 张晶,左盼莉,程克斌,等. 磁共振体素内不相干性运动在肌骨系统肿瘤定性诊断中的作用[J]. 放射学实践, 2016, 31(7):654-657.
- [13] Gaeta M, Benedetto C, Minutoli F, et al. Use of diffusion-weighted, intravoxel incoherent motion, and dynamic contrast-enhanced MR imaging in the assessment of response to radiotherapy of lymphoma metastases from breast cancer[J]. *Acad Radiol*, 2014, 21(10):1286-1293.
- [14] Bourillon C, Rahmouni A, Lin C, et al. Intravoxel Incoherent motion diffusion-weighted imaging of multiple myeloma lesions: correlation with whole-body dynamic contrast agent-enhanced MR imaging[J]. *Radiology*, 2015, 277(3):773-783.
- [15] 邹明珠,朱捷,周诚,等. 正常腰椎MRI体素不相干运动成像中轴位及矢状位扫描对骨骼各参数一致性的影响[J]. 医学影像学杂志,2016,26(6):1065-1067,1075.
- [16] Marchand AJ, Hitti E, Monge F, et al. MRI quantification of diffusion and perfusion in bone marrow by intravoxel incoherent motion (IVIM) and non-negative least square (NNLS) analysis [J]. *Magn Reson Imaging*, 2014, 32(9):1091-1096.
- [17] Zhao YH, Li SL, Liu ZY, et al. Detection of active sacroiliitis with ankylosing spondylitis through intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MR imaging[J]. *Eur Radiol*, 2015, 25(9):2754-2763.
- [18] Sanal HT, Yilmaz S, Kalyoncu U, et al. Value of DWI in visual assessment of activity of sacroiliitis in longstanding ankylosing spondylitis patients[J]. *Skeletal Radiol*, 2013, 42(2):289-293.
- [19] Zhang M, Zhou L, Huang N, et al. Assessment of active and inactive sacroiliitis in patients with ankylosing spondylitis using quantitative dynamic contrast-enhanced MRI[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2017, 46(1):71-78.
- [20] 初广宇,张孟超,杨海山,等. 动态对比增强MRI判断强直性脊柱炎骶髂关节炎活动性的临床初步研究[J]. 中华放射学杂志, 2015, 49(12):895-899.
- [21] Mulken RV, Schwartz RB. In re: characterization of benign and metastatic vertebral compression fractures with quantitative diffusion MR imaging[J]. *AJNR*, 2003, 24(7):1489-1491.
- [22] Lemke A, Stieltjes B, Schad LR, et al. Toward an optimal distribution of b values for intravoxel incoherent motion imaging[J]. *Magn Reson Imaging*, 2011, 29(6):766-776.
- [23] Lories RJ, Baeten DL. Differences in pathophysiology between rheumatoid arthritis and ankylosing spondylitis [J]. *Clin Exp Rheumatol*, 2009, 27(4 Suppl 55):S10-S14.
- [24] Li BB, Ren CP, Li Y, et al. Magnetic resonance diffusion weighted imaging sequence shows the best b value of sacroiliac joint imaging of healthy volunteers[J]. *Chinese J Tissue Engineering Research*, 2013, 17(17):3124-3131.

(收稿日期:2017-11-03 修回日期:2018-02-01)