

MR 体素内不相干运动定量参数对肛瘘活动性的评价

熊炬¹, 曹阳², 葛孟², 冷欢², 刘焯², 李咏梅¹

(1. 重庆医科大学附属第一医院放射科, 重庆 400016; 2. 重庆市垫江县人民医院放射科, 重庆 408300)

[摘要] 目的:探讨体素内不相干运动扩散加权成像(IVIM-DWI)的定量参数在肛瘘活动性评估中的价值。方法:收集 75 例肛瘘患者的术前 MRI 图像及临床资料,获取 IVIM-DWI 序列($b=0, 50, 100, 150, 200, 300, 600, 1\ 000, 1\ 500, 2\ 000$ s/mm²)的定量参数,包括:真实扩散系数(D)、假扩散系数(D*)、灌注分数(f)。以肛周疾病活动指数(PDAI)为诊断标准将上述患者分为活动性组($n=51$)和非活动性组($n=24$)。比较两组患者 IVIM-DWI 定量参数的差异,并采用受试者工作特征曲线(ROC)计算上述定量参数的诊断效能。结果:活动组和非活动组的 D 值分别为 $(0.27\pm 0.20)\times 10^{-3}$ mm²/s 和 $(0.52\pm 0.18)\times 10^{-3}$ mm²/s, 差异有统计学意义($P=0.000$); D* 值分别为 $0.10(0.08, 0.15)\times 10^{-2}$ mm²/s 和 $0.10(0.08, 0.14)\times 10^{-2}$ mm²/s, 差异无统计学意义($P=0.730$); f 值分别为 0.29 ± 0.07 和 0.26 ± 0.07 , 差异无统计学意义($P=0.710$)。ROC 曲线分析显示 D 值预测肛瘘活动性的曲线下面积(AUC)为 0.900, 敏感性和特异性分别为 86.3%、79.2%, 最佳诊断阈值为 0.37×10^{-3} mm²/s。结论:IVIM-DWI 定量参数的 D 值有助于术前无创性地评价肛瘘的活动性。

[关键词] 直肠瘘; 磁共振成像

[中图分类号] R574.8; R445.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1008-1062(2024)08-0567-05

DOI:10.12117/jccmi.2024.08.009

The evaluation of the activity of anal fistulas by quantitative parameters of MR intravoxel incoherent motion

XIONG Ju¹, CAO Yang², GE Meng², LENG Huan², LIU Ye², LI Yong-mei¹

(1. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China;

2. Department of Radiology, Dianjiang County People's Hospital, Chongqing 408300, China)

Abstract: Objective: To investigate the value of quantitative parameters of intravoxel incoherence motion diffusion weighted imaging (IVIM-DWI) in noninvasive preoperative prediction of anal fistula activity. **Methods:** Preoperative MRI images and clinical data of 75 patients with anal fistula were collected, quantitative parameters of IVIM-DWI sequence ($b=0, 50, 100, 150, 200, 300, 600, 1\ 000, 1\ 500, 2\ 000$ s/mm²) were obtained. It includes diffusion coefficient (D), pseudo-diffusion coefficient (D*) and perfusion fraction (f). According to perianal disease activity index (PDAI), the patients were divided into active group and inactive group. The difference of IVIM-DWI quantitative parameters between the two groups were compared, and the diagnostic efficacy of the above quantitative parameters was calculated by receiver operating characteristic curve (ROC). **Results:** The D values of active group and inactive group were $(0.27\pm 0.20)\times 10^{-3}$ mm²/s and $(0.52\pm 0.18)\times 10^{-3}$ mm²/s respectively, and the difference was statistically significant ($P=0.000$). The D* values were $0.10(0.08, 0.15)\times 10^{-2}$ mm²/s and $0.10(0.08, 0.14)\times 10^{-2}$ mm²/s respectively, with no statistical significance ($P=0.730$). The f values were 0.29 ± 0.07 and 0.26 ± 0.07 respectively, with no statistical significance ($P=0.710$). ROC curve analysis showed that the area under the curve (AUC) of D value in predicting anal fistula activity was 0.900, the sensitivity and specificity were 86.3% and 79.2% respectively, and the optimal diagnostic threshold was 0.37×10^{-3} mm²/s. **Conclusion:** The D value of IVIM-DWI is helpful to noninvasively predict the activity of anal fistulas before operation.

Key words: Rectal Fistula; Magnetic Resonance Imaging

肛管直肠瘘简称肛瘘,是一连接于肛管或直肠至肛门周围皮肤的线性、感染性肉芽组织通道,由内口、瘘管及外口组成,男性发病率高于女性^[1]。评估瘘管的活动性与治疗方式的选择和患者的预后关系密切。手术治疗是唯一治愈肛瘘的有效办法,手术的主要目的是在不影响患者控便能力的前提下,尽量切除瘘管、充分引流脓液、避免疾病复发^[1]。不同的手术方式因肛瘘的炎症活动性的不同而有很大差异,如瘘管切开术及切开挂线术适合炎症活动期的肛瘘,而瘘管切除缝合术及保留括约肌直肠黏膜瓣

移行术适合非活动期的肛瘘^[2-3]。因此,临床需对肛瘘的活动性进行判断。肛瘘可以通过体格检查、内镜、超声、瘘管造影、CT 和 MRI 进行评估^[4]。MRI 在评价病灶的活动性方面,缺乏定量指标进行客观评价,主要通过对病灶的信号强度及形态学特点大致估计。近年来, MRI 的多种序列已被用于评估瘘管及脓肿的活动性^[5-8]。体素内不相干运动扩散加权成像(IVIM-DWI)是一种基于 DWI 的新技术,无需对比剂即可提供组织的微观结构信息和灌注信息^[9],目前已被广泛地用于人体各种疾病的诊疗和临床管

[收稿日期] 2023-12-28; **[修回日期]** 2024-02-08

[作者简介] 熊炬(1986-),男,重庆人,主治医师。E-mail:184234927@qq.com

[通信作者] 李咏梅,重庆医科大学附属第一医院放射科,400016。E-mail:lymzhang70@aliyun.com

理中^[10]。然而,在先前的文献中,将 IVIM-DWI 用于评估瘘管及脓肿活动性的研究较少^[7],且病变区灌注及扩散特征的变化是如何引起 MRI 信号改变的机制目前尚不清楚。因此,本研究的目的是评估活动性与非活动性肛瘘患者 IVIM-DWI 参数的差异。

1 资料和方法

收集 2022 年 1 月—2023 年 6 月本院就诊并经临床医师诊断为肛瘘的患者(n=132),所有患者术前以肛旁肿痛为主要临床表现。

1.1 纳排标准及分组

纳入标准:①经临床和影像学检查证实为肛瘘者;②术前 MRI 检查与手术治疗的间隔时间 ≤ 7 d;③临床资料完整;④MRI 图像质量良好,可清晰显示瘘管。排除标准:①术前 MRI 检查与手术治疗的间隔时间 > 7 d;②临床资料不全或图像质量较差;③有直肠、肛管手术史;④合并肿瘤等其它肛管疾病;⑤磁共振检查禁忌症。上述患者中 57 例被排除,包括 32 例未接受 MRI 检查;16 例术前 MRI 检查与手术治疗的间隔时间 > 7 d;9 例 MRI 图像质量欠佳或病灶太小。最终有 75 例患者纳入本次研究(n=75)。

本研究以临床上评价疾病活动度的指标——肛周疾病活动指数(PDAI)为参考标准来评价肛瘘的活动性,评分标准包括:①肛周异常排泄物;②疼痛及活动受限;③性生活受限;④并发肛周疾病类型;⑤肛周硬结。按照严重程度每项 0~4 分,总分 20 分,分值越高肛周疾病活动度越明显。参考炎症性肠病外科治疗专家共识^[10]提出的标准,以 4 分为诊断阈值对患者进行分组,PDAI 评分 ≤ 4 分者为非活动性组, > 4 分者为活动性组。

1.2 仪器及方法

所有患者均需接受 MRI 增强扫描和 IVIM-DWI 序列扫描。采用 Siemens Magnetom Avanto 1.5T 超导型 MRI 成像仪,相控阵 8 通道体部线圈,所有患者检查前均无需做肠道准备。患者取仰卧位,头先进,平静呼吸,扫描范围从髂前上棘水平至股骨上段水平,扫描中心位于耻骨联合。先行快速自旋回波序列(TSE) T_1 WI、 T_2 WI 以及频率衰减反转恢复序列(SPAIR) T_2 WI 扫描,扫描范围保持一致,层厚 3.5 mm,层间距 0.35 mm,反转角 10° ,视野(FOV) 230 mm \times 230 mm。IVIM-DWI 序列选择多次激发平面回波成像序列(SE-EPI),TR 7 500 ms,TE 106 ms,FOV 302 mm \times 245 mm,层厚 3.5 mm,层间距 0.35 mm,b 值为 (0,50,100,150,200,300,600,1 000,1 500,2 000) s/mm²,扫描时间 444 s。最后采用脂肪抑制梯度回波容积插值屏气扫描序列(VIBE)进行冠状位、

横断位及矢状位扫描,层厚 2 mm,层间距 0.4 mm,单期扫描时间 22 s,重复 7 次无间隔扫描,于第 1 次扫描结束同时注射对比剂。总扫描时长为 1 071 s。对比剂采用 Gd-DPTA (江苏恒瑞医药股份有限公司)经肘静脉注射(0.1 mmol/kg),然后用 25 mL 生理盐水冲洗。

1.3 图像处理及测量

MRI 图像传送至影像工作站,由两名经验丰富的腹部放射科医生(分别有 13 年、8 年的腹部放射学诊断经验)进行独立评估。在对放射学检查结果和临床数据不知情的情况下进行双盲法阅片,包括:瘘管的数量、位置、走行、内外口的定位、Parks 分型^[11]、 T_2 WI 信号强度及 T_1 WI 增强序列的信号强度变化,如果有分歧则讨论解决。将 IVIM-DWI 图像导入图像后处理软件(MITK Diffusion(5.2.1))进行分析。在 T_1 WI 轴位增强图像上将图像放大 5 倍;鉴于多期动态增强序列的瘘管检出率明显高于高分辨率 T_2 WI 及 T_1 WI 增强序列,并能为瘘管的走行及其周围结构提供更丰富的细节^[12],我们在增强扫描各期中选择瘘管强化最明显且较厚(厚度 ≥ 1 mm)的区域手动勾画瘘管壁的感兴趣区(ROI)。每例患者在轴位图像上勾画一个条带状 ROI,面积均 > 5 mm²。勾画的 ROI 不包含邻近的正常结构及瘘管内的脓液,避免非瘘管壁结构产生信号干扰。由于 IVIM-DWI 序列与增强扫描序列图像扫描条件不一致,利用 MITK Workbench(5.2.1)软件中的 Match Point Registration Evaluator 插件进行图像配准。将 ROI 配准到同层面的 D、D* 及 f 图像上。两位放射科医生测量的平均值用于后续分析,用软件计算出 ROI 的 D、D* 及 f 值(图 1)。

1.4 统计方法

采用 SPSS 24.0 软件处理全部数据,并采用 Kolmogorov Smirnov 检验进行正态性分析,符合正态分布的计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布的定量资料用 M(Q1, Q3) 表示,2 组间比较采用两独立样本 t 检验或 Mann-Whitey U 检验。若两者之间有统计学差异,则绘制受试者工作特性曲线(ROC)并计算曲线下面积(AUC)。根据 Youden 指数得出相应的诊断阈值、敏感性和特异性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料结果

75 例肛瘘患者中,51 例为活动性肛瘘,男 37 例,女 14 例,平均年龄(45.1 \pm 12.3)岁,24 例为非活动性肛瘘,男 15 例,女 9 例,平均年龄(44.2 \pm 14.3)

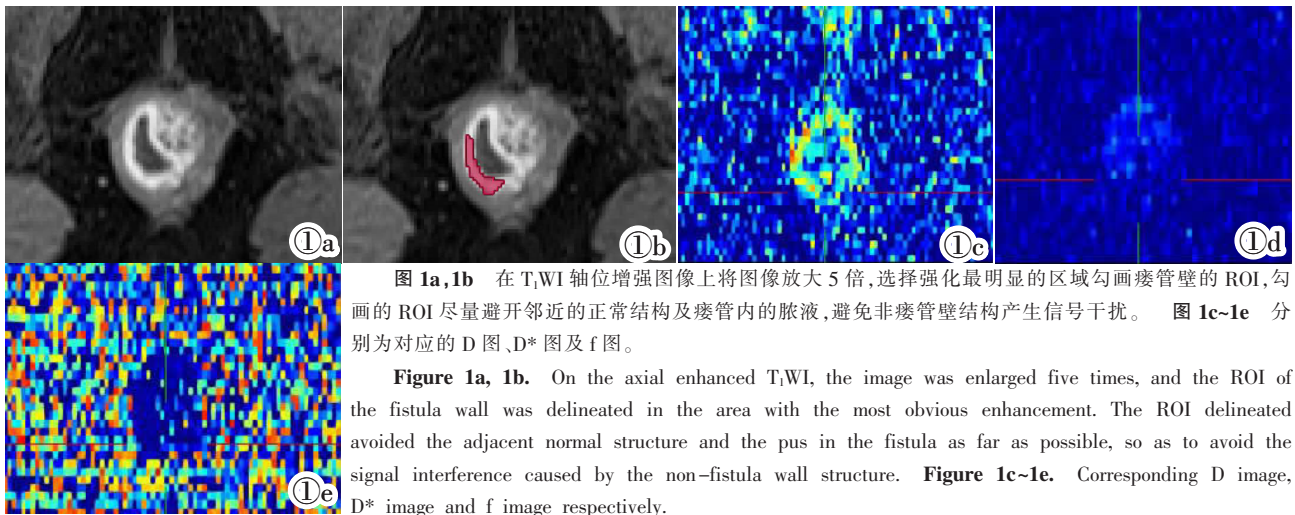


图 1a,1b 在 T₁WI 轴位增强图像上将图像放大 5 倍,选择强化最明显的区域勾画瘻管壁的 ROI,勾画的 ROI 尽量避开邻近的正常结构及瘻管内的脓液,避免非瘻管壁结构产生信号干扰。图 1c~1e 分别为对应的 D 图、D* 图及 f 图。

Figure 1a, 1b. On the axial enhanced T₁WI, the image was enlarged five times, and the ROI of the fistula wall was delineated in the area with the most obvious enhancement. The ROI delineated avoided the adjacent normal structure and the pus in the fistula as far as possible, so as to avoid the signal interference caused by the non-fistula wall structure. Figure 1c~1e. Corresponding D image, D* image and f image respectively.

岁。两组间年龄及性别无统计学差异(表 1)。58 例患者有 1 个内口,17 例患者有 2 个或 2 个以上内口;64 例患者有 1 个外口,11 例患者有 2 个或 2 个以上外口。术前 MRI 检查与手术治疗的平均时间间隔为 1.2 d。

2.2 常规 MRI 平扫及增强扫描表现

75 例瘻管在 T₁WI 图像上呈等或低信号,在 T₂WI 及脂肪抑制图像上呈稍高或高信号。脓液在 T₁WI 图像上均呈低信号,在 T₂WI 及脂肪抑制图像上均呈高信号,在 DWI 图像上均呈高信号,表观弥散系数(ADC)呈低信号。增强扫描以后,所有肛瘻患者的管壁均有不同程度强化。

2.3 肛瘻的 IVIM-DWI 表现

在 75 例患者中,当采用低 b 值(b=0 s/mm²)时,68 例患者可分辨出肛瘻的大致形态,而采用高 b 值(b=2 000 s/mm²)时,仅 12 例患者可大致显示病灶形态,病灶周围的结构均无法清晰显示。IVIM-DWI 图像分辨率低,单独应用时无法对肛瘻进行定位及定性诊断,但当和其它序列联合应用时,可利用其定量参数对瘻管的活动性进行分析。

2.4 IVIM-DWI 定量参数的诊断效能

活动性组和非活动性组的 D 值分别为 (0.27±0.20)×10⁻³ mm²/s 和 (0.52±0.18)×10⁻³ mm²/s,差异具有统计学意义 (P=0.000);D* 值分别为 0.10(0.08,0.15)×10⁻² mm²/s 和 0.10(0.08,0.14)×10⁻² mm²/s, P=0.730;f 值分别为 0.29±0.07 和 0.26±0.07, P=0.710。两组间的 D* 值和 f 值无统计学差异 (P>0.05)(表 1)。ROC 曲线分析显示:IVIM-DWI 的 D 值对肛瘻活动性的诊断具有最高的诊断效能,其 AUC 值为 0.900,敏感性和特异性分别为 86.3% 和 79.2%,最佳诊断阈值为 0.367×10⁻³ mm²/s(图 2)。

3 讨论

表 1 活动性组和非活动性组患者参数比较 (x±s 或 M(Q1,Q3))

参数	活动性组	非活动性组	检验值	P 值
男/女(例)	37/14	15/9	1.580 ¹	0.209
年龄(岁)	45.1±12.3	44.2±14.3	0.283	0.778
D*(10 ⁻² mm ² /s)	0.10(0.08,0.15)	0.10(0.08,0.14)	-0.119 ²	0.730
D(10 ⁻³ mm ² /s)	0.27±0.20	0.52±0.18	6.057	0.000
f	0.29±0.07	0.26±0.07	-1.956	0.710

注:1:卡方值,2:Z 值,余为 t 值。

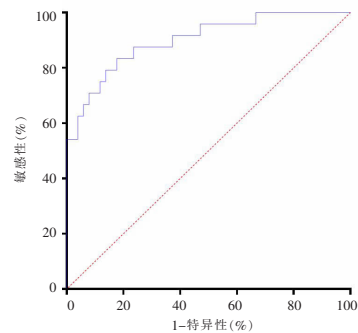


图 2 D 值对活动性肛瘻及非活动性肛瘻(活动性组 vs.非活动性组)的 ROC 曲线分析。D 值的曲线下面积为 0.900,鉴别诊断的最佳阈值为 0.367×10⁻³ mm²/s,敏感性和特异性分别为 86.3%、79.2%。

Figure 2. ROC curve analysis of active and inactive anal fistulas (active group vs. inactive group) with D value. The area under the curve of D value was 0.900, the optimal threshold for differential diagnosis was 0.367×10⁻³ mm²/s. The sensitivity and specificity were 86.3% and 79.2%, respectively.

3.1 常规 MRI 及部分功能序列对肛瘻活动性的评估方法

肛管为内、外括约肌包绕的圆柱形结构。内括约肌在 T₂WI 图像上为稍高信号,外括约肌为稍低信号,内括约肌 T₁WI 增强图像上表现为明显强化,而外括约肌强化不如内括约肌明显。内、外括约肌之间为包含疏松结缔组织及联合纵肌的括约肌间隙,此间隙的存在为炎症蔓延提供了解剖基础^[13]。肛瘻是肛门部常见的外科疾病之一,由内口、瘻管及外口组成,瘻管走行多变,部分瘻管可见分支,瘻管破溃处即为外口,一般位于肛缘周围的皮肤。MRI 对软组织

织分辨率高,能较准确显示肛门内外括约肌、肛提肌和耻骨直肠肌的解剖结构,对指导手术具有较高的价值^[13]。经分析本组 75 例肛瘘患者的 MRI 信号特点,观察到 T₁WI 可显示肛管及其周围结构的解剖关系;T₂WI 可以观察到瘘管内高信号的脓液;瘘管壁随着时间的变化由肉芽组织进展为纤维组织,其信号强度逐渐减低,表明此时进入肛瘘的非活动性阶段。T₁WI 增强序列瘘管壁均有不同程度强化。以往采用 MRI 对肛瘘的活动性进行评价主要以 T₂WI 为主。由于活动性瘘管内含有脓液、炎性液体或肉芽组织,相对于括约肌与肛提肌呈高信号,而非活动性瘘管中的瘢痕组织表现为低信号。但目前尚缺乏对病灶的活动性进行客观评价的定量指标。

T₁WI 增强序列能够一定程度上显示活动性瘘管或脓肿壁等血管分布增加的区域,由于组织灌注和血管通透性增加,炎症组织的信号强度明显增加,如活动性瘘管或脓肿壁^[14]。但这可能高估活动性瘘管的数量或活动性程度,特别是当静止性瘘管持续存在时,偶尔非活动性瘘管可能会摄取对比剂而被错误地认为是活动性瘘管。

DCE-MRI 已被用于评估肛瘘的活动性^[7,15]。最近的研究评估了瘘管的活动性与半定量参数^[15]或定量参数^[6-7]之间的相关性。Ziech 等^[7]发现半定量参数中的最大增强可用于评估肛周克罗恩病患者的疾病活动。Lefrançois 等^[9]发现,与非活动性肛瘘相比,活动性肛瘘具有更长的短暂增强,这可能是由于活动性瘘管炎症导致通透性增加。然而,DCE-MRI 需要使用对比剂,且通过半定量分析所获得的数据完全依赖于 MRI 设备所采用的参数,导致其不能在不同研究之间进行比较^[7]。DCE-MRI 检查时间也较长,这限制了其在临床中的应用。

DWI 对水分子的随机运动很敏感,其信号主要取决于细胞间隙的含水量。活动性肛瘘脓液中含有炎症细胞、蛋白基质、细胞碎片,可表现出较低的 ADC 值。Hori 等^[16]指出 DWI 可以作为 T₂WI 对肛瘘检测的辅助手段。Dohan 等^[5]发现 DWI 序列中的 ADC 值有助于区分肛周脓肿和炎性肿块,但是与瘘管活动性的相关性较差,并指出在实际工作中,很难对疾病的状态做出明确的判断。而 Yoshizako 等^[17]发现在接受过抗生素保守治疗的患者中,活动性肛瘘的 ADC 值低于非活动性肛瘘。分析原因可能为 ADC 值反映了组织微观水分子扩散受限,而忽略了病灶内仍有微循环血流灌注的影响,导致所测值不能反映真实情况。MRI 弥散张量成像(DTI)是一个在 DWI 基础上的功能成像序列。肛周结构双侧对称,当肛瘘破坏其结构时,导致肛周结构紊乱、不规则。有研究^[4]

指出活动性组的 FA 值存在差异,由于活动性瘘管的存在一定程度上改变了水分子扩散的相对稳定性,可能是活动性组 FA 值减低的原因。

3.2 IVIM-DWI 评估肛瘘活动性的价值

IVM-DWI 是一种新的 DWI 技术,可以无需注射对比剂同时测量组织中水分子的弥散水平和毛细血管中的灌注水平,具有较大的 b 值范围。Le Bihan 等^[23]提出了 IVIM-DWI 序列的双指数模型:

$$S_b/S_0 = (1-f)\exp(-bD) + f\exp(-bD^*)$$

与传统的单指数模型相比,双指数模型可以提供更准确的组织扩散和灌注信息。本研究以临床 PDAI 评分表为参考标准,通过 IVIM-DWI 序列的定量参数评估肛瘘活动性,所有纳入的患者在 MRI 均能看见肛瘘。活动性组的 D 值显著低于非活动性组,而 D* 值及 f 值在两组间无统计学意义。

用 IVIM-DWI 定量参数评估肛瘘活动性的研究很少,但这些参数已被尝试用于克罗恩病患者的活动性评估^[18-20]。Sun 等^[21]将克罗恩病患者受累肠段的最厚处作为感兴趣区与正常肠段对比,发现其炎症段 D 值较低,可能是由于克罗恩病引起的细胞密集程度增加和细胞外间隙减小所致。我们的结果表明活动性瘘管的 D 值低于非活动性瘘管。活动性肛瘘含有丰富的淋巴细胞及中性粒细胞导致细胞密集程度增加、细胞外间隙减小,使水分子弥散速度减慢,导致 D 值存在差异。而非活动性的瘘管细胞与细胞排列相对疏松,水分子活动受限不明显。

D* 值主要受毛细血管中的血流量影响^[23]。Sun 等^[24]的研究中克罗恩病受累段肠管的 D* 值较正常肠段显著增加,表明其血流增加以供应异常的炎症组织,而本项研究将活动性肛瘘与非活动性肛瘘做比较,而不是与正常肠段做比较,这可能导致其结论对本项研究结论不同。也有研究^[18]表明在克罗恩病中病变肠段的 D* 值则无明显变化,与我们的结果一致。本项研究结果表明活动性组及非活动性组的 D* 值无统计学差异,分析其原因可能为活动性瘘管及非活动性瘘管在血流灌注上无明显差异,这与我们观察到两组瘘管在不同时间点均出现不同程度强化这一现象相符合。但引起 D* 值无统计学差异的具体原因仍待进一步研究。

我们的结果显示 f 值在两组间无统计学意义,活动性瘘管理论上具有更高的灌注水平^[7]。f 值受组织内灌注及扩散的共同影响,与组织内细胞密集度、水分子扩散程度、微循环血管分布、血流速度均有关系。之前有研究^[24]发现克罗恩病患者受影响肠段较未受累肠段的微血管体积减小,同时受影响肠段组织内细胞密集度、水分子扩散程度增加,使 f 值表现

出组间无差异性。Hectors 等^[8]利用 IVIM-DWI 和 DCE-MRI 在克罗恩病患者的受累肠段及正常肠管对比中也得出了同样的结论,并指出在 DCE-MRI 参数中发现与灌注相关的参数增高,可能与受影响肠段的血管增加无关,而是与炎症病变的血液流速增加相关。总体而言,f 值受影响因素较多,可能是导致本研究中 f 值无差异性的原因。

本研究所勾画的 ROI 仅仅包含了瘻管壁。Lefrançois 等^[6]报道,IVIM-DWI 的 3 个参数(D、D*及 f)在鉴别肛瘻活动性方面均无统计学意义,这与本次研究不同。这是因为其勾画的 ROI 包含了整个瘻管即管壁、管腔及脓液,并认为这些代表了活动性肛瘻的指标。这可能导致兴趣区的成分复杂,各种组成成分的性质不同,进而影响实验结果。本研究所用的 ROI 排除了瘻管内的管腔及脓液成分,这可能是导致两者结果不同的原因。

此外,我们的研究表明肛瘻主要发生在成年男性,患者的平均年龄为 44.8 岁,与之前的报道一致^[8,25]。我们还发现患者的年龄、性别在两组之间无差异,这与之前的研究一致^[25]。

本研究的局限性:①样本量比较小,病例选择存在一定的偏倚,未将无症状患者纳入研究;②仅以临床 PDAI 评分而非手术结果作为参考标准来区分活动性及非活动性肛瘻,这可能导致分组不够准确;③仅将所有病例分为活动性组及非活动性组,而未将活动性组进行亚组分析;④IVIM-DWI 序列采集时间较长,可以在结合信噪比、图像质量、结果的可靠性及扫描时间的前提下对所采用的 b 值进行优化。

本研究表明:IVIM-DWI 定量参数的 D 值有助于术前无创性地评价肛瘻的活动性,可作为肛瘻 MRI 检查常规序列的补充。

[参考文献]

- [1]Emile SH, Khafagy W, Elbaz SA. Impact of number of previous surgeries on the continence state and healing after repeat surgery for recurrent anal fistula[J]. J Visc Surg, 2021, 159(3): 206-211.
- [2]王玉. 磁共振多序列显示肛瘻形态学及扩散张量成像评估肛瘻活动性的价值[D]. 济南:山东大学,2018.
- [3]中国医师协会肛肠医师分会临床指南工作委员会. 肛瘻诊治中国专家共识(2020 版)[J]. 中华胃肠外科杂志,2020,23(12):1123-1130.
- [4]Wang Y, Gu C, Huo Y, et al. Diffusion tensor imaging for evaluating perianal fistula: Feasibility study [J]. Medicine, 2018, 97(29): e11570.
- [5]Dohan A, Eveno C, Oprea R, et al. Diffusion-weighted MR imaging for the diagnosis of abscess complicating fistula-in-ano: preliminary experience[J]. Eur Radiol, 2014, 24(11): 2906-2915.
- [6]Lefrançois P, Zummo-Soucy M, Olivé D, et al. Diagnostic performance of intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging and dynamic contrast-enhanced MRI for assessment of anal fistula activity[J]. PLoS One, 2018, 13(1): e0191822.
- [7]Ziech ML, Lavini C, Bipat S, et al. Dynamic contrast-enhanced MRI in determining disease activity in perianal fistulizing Crohn disease: a pilot study[J]. Am J Roentgenol, 2013, 200(2): W170-177.
- [8]Le Bihan D. What can we see with IVIM MRI?[J]. Neuroimage, 2019, 187: 56-67.
- [9]Cao J, Gao S, Zhang C, et al. Differentiating atypical hemangiomas and vertebral metastases: a field-of-view (FOV) and FOV-CUS intravoxel incoherent motion (IVIM) diffusion-weighted imaging(DWI) study[J]. Eur Spine J, 2020, 29(12): 3187-3193.
- [10]中华医学会消化病学分会炎症性肠病学组. 炎症性肠病外科治疗专家共识[J]. 中华炎性肠病杂志,2020,4(3):180-199.
- [11]Parks AG, Gordon PH, Harcastle JD. A classification of fistula-in-ano[J]. Br J Surg, 2005, 63(1): 1-12.
- [12]张莲,朱慧媛,孙金芳,等. 磁共振三种不同序列对肛瘻瘻管形态特征评价的比较研究 [J]. 临床放射学杂志,2018,37 (2):289-293.
- [13]杨帆,汪俐杉,李文波,等. 肛瘻的磁共振诊断[J]. 放射学实践, 2019,34(11):1265-1270.
- [14]Halligan S, Stoker J. Imaging of fistula in ano [J]. Radiology, 2006, 239(1): 18-33.
- [15]Horsthuis K, Ziech ML, Bipat S, et al. Evaluation of an MRI-based score of disease activity in perianal fistulizing Crohn's disease[J]. Clin Imaging, 2011, 35(5): 360-365.
- [16]Hori M, Oto A, Orrin S, et al. Diffusion-weighted MRI: a new tool for the diagnosis of fistula in ano [J]. J Magn Reson Imaging, 2009, 30(5): 1021-1026.
- [17]Yoshizako T, Wada A, Takahara T, et al. Diffusion-weighted MRI for evaluating perianal fistula activity: Feasibility study[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(9): 2049-2053.
- [18]Hectors SJ, Gordic S, Semaan S, et al. Diffusion and perfusion MRI quantification in ileal Crohn's disease [J]. Eur Radiol, 2019, 29(2): 993-1002.
- [19]Freiman M, Perez-Rossello JM, Callahan MJ, et al. Characterization of fast and slow diffusion from diffusion-weighted MRI of pediatric Crohn's disease [J]. J Magn Reson Imaging, 2013, 37 (1): 156-163.
- [20]Yang HJ, Xi YL, Guan XN, et al. Evaluation of intravoxel incoherent motion diffusion-weighted magnetic resonance imaging for detection of bowel inflammation in patients with crohn disease[J]. J Comput Assist Tomogr, 2019, 43(5): 755-761.
- [21]Sun P, Zhu D, Li J, et al. Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging in quantitative evaluation of ileal Crohn's disease—A comparison with dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging and ileocolonoscopy [J]. Magn Reson Imaging, 2023, 97: 82-90.
- [22]Luo JW, Zhou KP, Zhang B, at al. Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging for evaluation of the cell density and angiogenesis of cirrhosis-related nodules in an experimental rat model: comparison and correlation with dynamic contrast-enhanced MRI[J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 51(3): 812-823.
- [23]Le Bihan D. Intravoxel incoherent motion perfusion MR imaging: a wake-up call[J]. Radiology, 2008, 249(3): 748-752.
- [24]Panes J, Bouhnik Y, Reinisch W, at al. Imaging techniques for assessment of inflammatory bowel disease: joint ECCO and ESGAR evidence-based consensus guidelines [J]. J Crohn's Colitis, 2013, 7(7): 556-585.
- [25]Horsthuis K, Bipat S, Stokkers P, at al. Magnetic resonance imaging for evaluation of disease activity in Crohn's disease: a systematic review[J]. Eur Radiol, 2009, 19(6): 1450-1460.