

体素内不相干运动扩散加权成像(IVIM-DWI)定量研究育龄期女性正常子宫月经周期内微循环变化

陈天佑, 强金伟, 李若坤, 蔡宋琪

【摘要】 目的:探讨体素内不相干运动扩散加权成像(IVIM-DWI)定量测量正常子宫微循环灌注随月经周期变化的价值。**方法:**10 例育龄期健康女性志愿者于经期(第 3 天)、增生早期(第 7 天)、增生晚期(第 12 天)、分泌早期(第 17 天)及经前期(第 27 天)行盆腔 MRI 扫描。扫描序列包括 T_1 WI、 T_2 WI 和 IVIM。测量子宫内膜、结合带及外肌层的真实扩散系数(D)、假性扩散系数(D^*)和灌注分数(f)。比较月经周期各时间点 D、 D^* 及 f 值的差异,统计方法采用随机区组设计方差分析。**结果:**不同时间点间两两比较,子宫的三层结构中仅内膜的 f 值在经前期与增生早期以及结合带的 f 值在经前期与经期、经前期与增生早期期间的差异具有统计学意义(P 值分别为 0.015、0.037、0.038),其余各时间点间 f、D 和 D^* 值的差异无统计学意义($P > 0.05$);内膜的 f 值自增生早期至经前期呈现先上升后下降的变化趋势,且在增生晚期达峰值。子宫 3 层结构间两两比较,在经期、增生早期、分泌早期和经前期,内膜与结合带、结合带与外肌层间 D 值的差异具有统计学意义(P 值分别为 0.048、0.024、0.009 和 0.014;0.029、0.001、0.004 和 0.000),且 D 值的大小为结合带 < 内膜 < 外肌层;除经期外,其它 4 期时子宫内膜与外肌层、结合带与外肌层间 f 值的差异均有统计学意义($P < 0.05$);除经期和增生晚期,其它 3 期时子宫内膜与外肌层、结合带与外肌层间 D^* 值的差异亦具有统计学意义($P < 0.05$)。**结论:**IVIM-DWI 是非侵入性评价正常子宫在月经周期中微循环变化情况的有效方法。

【关键词】 子宫; 微循环; 月经周期; 体素内不相干运动; 磁共振成像

【中图分类号】 R445.2; R711.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)12-1213-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.12.024

Quantification of uterine microcirculation changes in women of reproductive age during menstrual cycle using intravoxel incoherent motion diffusion weighted imaging CHEN Tian-you, QIANG Jin-wei, LI Ruo-kun, et al. Department of Radiology, Jinshan Hospital Affiliated to Fudan University, Shanghai 201506, China

【Abstract】 Objective: To investigate the value of intravoxel incoherent motion diffusion weighted imaging (IVIM-DWI) for quantifying microvasculature changes of normal uterus during menstrual cycle. **Methods:** Ten healthy female volunteers of reproductive age underwent pelvic MRI examination including T_1 WI, T_2 WI, and IVIM-DWI at five periods of menstrual cycle including menstruation, early hyperplasia phase, late hyperplasia phase, early secretion phase, and pre-menstruation phases. Diffusion coefficient (D), pseudodiffusion coefficient (D^*), and perfusion fraction (f) of endometrium, junctional zone and myometrium of uterus were measured and compared. Analysis of variance for randomized block design was used for statistical analysis. **Results:** For each of the three layers of uterine wall, the f, D and D^* at different phases were compared using pairwise comparison among groups, significant difference was only found in f value between menstruation and early hyperplasia phase for endometrium, and between pre-menstruation and menstruation, early hyperplasia phase and pre-menstruation for junctional zone ($P=0.015, 0.037$ and 0.038 , respectively). From early hyperplasia phase to pre-menstruation phase, the f value of endometrium increased firstly, reached the peak value in the late of hyperplasia phase and then decreased. In each phase of menstrual cycle, the three indexes were compared using pairwise comparison among the three layers of uterus; except late hyperplasia phase, in the other four phases there was significant difference in D value of junctional zone compared with endometrium or myometrium ($P=0.048, 0.024, 0.009$ and 0.014 ; and $0.029, 0.001, 0.004$ and 0.000 ; respectively), and the mean of D value was junctional zone < endometrium < myometrium; except menstruation, in the other four phases there was significant difference on f value of junctional zone compared with endometrium or myometrium ($P < 0.05$); for D^* value, in early hyperplasia phase, early secretion phase, and pre-menstruation, there was significant difference between endometrium with junctional zone, and junctional zone with myometrium ($P < 0.05$). **Conclusion:** IVIM-DWI may be a noninvasive method for evaluation of uterine microcirculation during menstrual cycle.

【Key words】 Uterus; Microcirculation; Menstrual cycle; Intravoxel incoherent motion; Magnetic resonance imaging

作者单位: 201508 上海, 复旦大学附属金山医院影像科

作者简介: 陈天佑(1989-), 男, 河南永城人, 住院医师、硕士, 主要从事体部影像诊断工作。

通讯作者: 强金伟, E-mail: dr.jinweiqiang@163.com

基金项目: 国家自然科学基金(81471628); 上海市科委医学引导项目(124119a3300); 上海市卫生系统先进适宜技术推广项目(2013SY075)

磁共振成像在女性生殖系统疾病诊断方面的作用在过去的 20 年间已经逐步形成^[1],且因其良好的软组织分辨能力、多平面成像和无电离辐射等独特优势,成为迄今为止在体显示子宫各层结构的最佳影像学方法^[2],尤其是无脂肪抑制矢状面 T_2 WI。尽管传统 MRI 能够很好地提供子宫形态学方面的信息,但其在评价子宫微循环方面的应用尚未见文献报道。

DWI 技术已应用于女性盆腔良恶性肿瘤的鉴别及子宫内膜癌的分期研究中^[3-5]。但由于生物体内组织信号的衰减除受水分子扩散影响外,还受到毛细血管微循环灌注的影响,故采用单指数模型计算的表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)并不能真实反映组织内水分子的运动状况。体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)DWI 双指数模型能更好地反映组织信号衰减,它是一种无需使用对比剂即可同时获得活体组织水分子扩散及微循环灌注信息的无创性检查技术,能有效地避免对比剂过敏反应及相关肾功能损伤等不良反应的发生。IVIM-DWI 的概念由 Le Bihan 等^[6]首次提出,目前已有文献报道将 IVIM 技术应用于盆腔肿瘤的诊断^[7-8]。而对于正常子宫三层结构随月经周期变化的 IVIM-DWI 相关研究国内外均未见报道。有文献报道,女性生育期子宫三层结构的 ADC 值在月经周期内会发生改变^[9],但女性月经周期的变化是否会对 IVIM-DWI 各参数产生影响尚不明确。本研究旨在探讨 IVIM-DWI 定量分析正常子宫血流灌注随月经周期变化的临床应用价值。

材料与方法

1. 临床资料

10 例育龄期健康女性志愿者,年龄 24~27 岁,平均 25.5 岁,中位年龄 26.0 岁。全部志愿者月经规律,均未婚未育,无流产史;正常体型,身体质量指数(body mass index, BMI)为 19~24 kg/m²;无激素使用史、痛经史和妇科疾病史, MRI 检查前的 2 个月经周期内无避孕药使用史。每例志愿者于月经周期中的经期(第 3 天)、增生早期(第 7 天,经末)、增生晚期(第 12 天,排卵前)、分泌早期(第 17 天,排卵后)和经前期(第 27 天)共 5 个时间点分别进行盆腔 MRI 扫描。

2. 检查方法

使用 Siemens Magnetom Verio 3.0T MRI 扫描仪和十六通道体部线圈,所有病例行常规 MRI 及 IVIM 扫描。

检查前均适度饮水使膀胱适度充盈,扫描时采用仰卧位自由呼吸,扫描范围覆盖整个盆腔。横轴面 T_1 WI: TR 455 ms, TE 10 ms, 视野 32 cm×32 cm, 层厚 5 mm, 层间距 1 mm, 矩阵 320×240; 横轴面 FSE T_2 WI: TR 5500 ms, TE 96 ms, 视野 32 cm×32 cm, 层厚 5 mm, 层间距 1.5 mm, 矩阵 320×320; 矢状面 FSE T_2 WI: TR 4500 ms, TE 96 ms, 视野 25 cm×25 cm, 层厚 4.5 mm, 层间距 0.9 mm, 矩阵 320×320。

横轴面 IVIM-DWI: 采用单次激发 SE-EPI 序列,在 3 个方向上进行扩散信号的采集,选取 8 个 b 值(0、50、100、200、400、600、800 和 1000 s/mm²); 层数 25, 层厚 4.5 mm, 间距 0.9 mm, TR 4700 ms, TE 71 ms, 矩阵 120×120, 激励次数 1, 扫描时间 3 min 42 s。

3. 图像后处理

将原始图像导入 IVIM 处理软件(MATLAB; Mathworks, Natick, Mass), 通过双指数非线性模型生成扩散参数伪彩图。本次研究中 D^* 上限设为 170 mm²/s。参照横轴面 T_2 WI, 每次扫描尽量保持中心层面一致, 分别在子宫内膜、结合带、浅肌层、深肌层和闭孔内肌五个部位各选取 2 个 ROI(图 1), 测量相关参数值并取其平均值, 包括真实扩散系数(diffusion coefficient, D), 血液微循环产生的假性扩散系数(pseudodiffusion coefficient, D^*)和灌注分数(perfusion fraction, f)。

4. 统计学方法

使用 SPSS 20.0 软件包进行统计学处理, 比较在月经周期不同时期子宫三层结构的 D、 D^* 和 f 值的差异, 以及同一生理周期时子宫三层结构间 D、 D^* 和 f 值的差异。采用单变量方差分析法(Univariate Analysis of Variance), 在对各组数据进行多重两两比

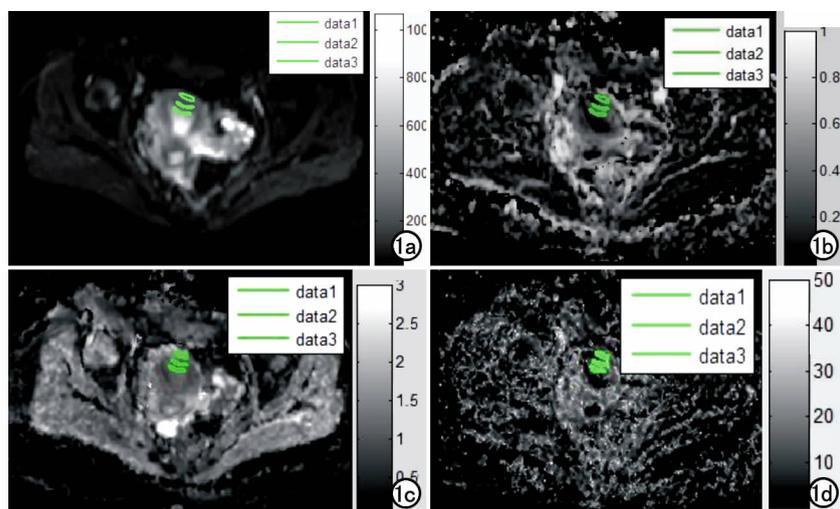


图 1 同一例患者的 IVIM-DWI 图像。a) $b=0$ s/mm² 的 DWI 图像; b) 平均 DWI 图, 可获得 D 值; c) Kmap 图, 可获得 D^* 值; d) Dmap 图, 可获得 f 值。图中 Data1、Data2、Data3 分别为在子宫内膜、结合带和肌层所画 ROI。

较前,先进行方差齐性检验,方差齐时采用采用最小显著差异法(Least Significant Difference, LSD),方差不齐时用 Tamhane 对对各组 IVIM 定量参数值进行两两比较。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

1. 子宫三层结构在不同月经周期 IVIM 各定量参数比较

10 例志愿者均在一个月经周期内完成 5 次 MRI 扫描,IVIM 图像清晰,无明显伪影。子宫三层结构在月经周期不同时间点的 IVIM 定量参数(D、D*、f)测量结果及两两比较结果见表 1~4。

表 1 正常女性不同月经周期子宫内膜 IVIM 定量参数值

时期	D 值 (mm ² /s)	D* 值 (mm ² /s)	f 值
经期(A)	1.286±0.440	10.495±5.009	0.217±0.053
增生早期(B)	1.070±0.342	9.182±4.924	0.113±0.066
增生晚期(C)	1.142±0.294	9.295±6.564	0.192±0.149
分泌早期(D)	1.273±0.290	8.345±3.221	0.149±0.889
经前期(E)	1.234±0.270	8.647±4.752	0.135±0.720

统计分析结果显示,仅子宫内膜的 f 值在经前期与经期、经期与增生早期,以及结合带的 f 值在经前期与经期、经前期与增生早期的差异具有统计学意义(P 值分别为 0.015、0.050、0.037 和 0.038),其余各

表 2 正常女性不同月经周期结合带 IVIM 定量参数值

时期	D 值 (mm ² /s)	D* 值 (mm ² /s)	f 值
经期(A)	0.982±0.302	10.348±5.004	0.179±0.085
增生早期(B)	0.808±0.175	10.269±6.270	0.179±0.101
增生晚期(C)	1.036±0.448	9.249±5.662	0.141±0.074
分泌早期(D)	1.000±0.159	7.852±3.540	0.131±0.053
经前期(E)	0.984±0.243	6.472±3.710	0.105±0.061

表 3 正常女性不同月经周期外肌层 IVIM 定量参数值

时期	D 值 (mm ² /s)	D* 值 (mm ² /s)	f 值
经期(A)	1.322±0.254	15.045±4.382	0.295±0.122
增生早期(B)	1.244±0.200	15.862±6.094	0.362±0.164
增生晚期(C)	1.268±0.357	15.879±10.054	0.327±0.237
分泌早期(D)	1.307±0.173	14.234±4.704	0.336±0.144
经前期(E)	1.383±0.276	15.013±5.534	0.265±0.111

组间两两比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

2. 相同生理周期子宫三层结构之间 D、D*、f 值的比较

相同生理周期子宫三层结构之间各参数值的比较见表 5~7、图 2~4。内膜和结合带、结合带和外肌层的 D 值在经期、增生早期、分泌早期以及经前期两两比较,差异均有统计学意义(P 值分别为 0.048/0.029、0.024/0.001、0.009/0.004、0.014/0.000),且 D 值的大小为结合带 < 内膜 < 外肌层。内膜和外肌

表 4 月经周期内不同时期子宫三层结构各项参数值比较的 P 值

组间比较	D 值			D* 值			f 值		
	子宫内膜	结合带	外肌层	子宫内膜	结合带	外肌层	子宫内膜	结合带	外肌层
A vs B	0.155	0.155	0.490	0.562	0.970	0.776	0.015*	0.992	0.268
A vs C	0.340	0.652	0.631	0.569	0.598	0.771	0.542	0.270	0.598
A vs D	0.928	0.878	0.894	0.345	0.235	0.777	0.102	0.171	0.493
A vs E	0.736	0.984	0.592	0.416	0.069	0.991	0.050	0.037*	0.611
B vs C	0.629	0.065	0.833	0.960	0.624	0.995	0.059	0.274	0.274
B vs D	0.181	0.117	0.577	0.712	0.250	0.571	0.381	0.174	0.668
B vs E	0.273	0.150	0.224	0.813	0.074	0.767	0.592	0.038*	0.110
C vs D	0.387	0.766	0.728	0.675	0.503	0.567	0.294	0.785	0.874
C vs E	0.535	0.667	0.312	0.775	0.187	0.763	0.166	0.305	0.303
D vs E	0.805	0.894	0.504	0.894	0.508	0.786	0.730	0.448	0.236

表 5 子宫三层结构中同一生理周期 D 值的比较

时相	D 值(mm ² /s)			P 值		
	内膜(A)	结合带(B)	外肌层(C)	A 与 B	A 与 C	B 与 C
经期	1.286±0.440	0.982±0.302	1.322±0.254	0.048*	0.805	0.029*
增生早期	1.070±0.342	0.808±0.175	1.244±0.200	0.024*	0.119	0.001*
增生晚期	1.142±0.294	1.036±0.448	1.268±0.357	0.545	0.475	0.195
分泌早期	1.273±0.290	1.000±0.159	1.307±0.173	0.009*	0.717	0.004*
经前期	1.234±0.270	0.984±0.243	1.383±0.276	0.014*	0.127	0.000*

表 6 子宫三层结构中同一生理周期 D* 值的比较

时相	D* 值(mm ² /s)			P 值		
	内膜(A)	结合带(B)	外肌层(C)	A 与 B	A 与 C	B 与 C
经期	10.495±5.009	10.348±5.004	15.045±4.382	0.949	0.062	0.054
增生早期	9.182±4.924	10.269±6.270	15.862±6.094	0.619	0.006*	0.018*
增生晚期	9.295±6.564	9.249±5.662	15.879±10.054	0.989	0.055	0.054
分泌早期	8.345±3.221	7.852±3.540	14.234±4.704	0.782	0.004*	0.002*
经前期	8.647±4.752	6.472±3.710	15.013±5.534	0.199	0.001*	0.000*

表7 子宫三层结构中同一生理周期f值的比较

时相	f 值			P 值		
	内膜(A)	结合带(B)	外肌层(C)	A 与 B	A 与 C	B 与 C
经期	0.217±0.053	0.179±0.085	0.295±0.122	0.324	0.051	0.006*
增生早期	0.113±0.066	0.179±0.101	0.362±0.164	0.240	0.000*	0.003*
增生晚期	0.192±0.149	0.141±0.074	0.327±0.237	0.324	0.016*	0.002*
分泌早期	0.149±0.889	0.131±0.053	0.336±0.144	0.720	0.001*	0.001*
经前期	0.135±0.720	0.105±0.061	0.265±0.111	0.327	0.000*	0.000*

层、结合带和外肌层在增生早期、分泌早期和经前期两两比较 D^* 值和 f 值差异均具有统计学意义。内膜 f 值在增生早期到经前期这段时间内呈现先上升后下降的变化趋势,且在增生晚期达峰值。内膜和外肌层、结合带和外肌层 f 值在增生晚期差异亦具有统计学意义。

讨论

1. IVIM-DWI 成像原理

IVIM-DWI 是一种可以同时测量活体组织水分子扩散运动和毛细血管微循环灌注的无创性检查方法。研究发现,在活体组织中 ADC 值很不稳定,组织内水分子运动受到细胞间隔、细胞膜和血流灌注等的影响,尤其是在低 b 值区域,与微循环灌注相关的扩散系数对信号衰减影响较大,尤其是在高灌注组织。IVIM-DWI 各定量参数中 D 值又称真扩散系数,代表排除了灌注影响的相对真实的水分子扩散状态,又称慢池扩散,单位是 mm^2/s 。 D^* 即与毛细血管灌注相关的扩散系数,取决于毛细血管的平均血流速度和毛细血管几何形态,又称快池扩散,单位也是 mm^2/s 。本研究中 D^* 值约为 D 值的 10 倍左右,这也进一步解释了低 b 值时 D^* 值对磁共振信号的衰减具有更高的敏感性。 f 表示灌注因素在扩散信号中所占的比例,与毛细血管血流量有关,反映组织内血管密集程度,其没有单位,大小介于 0 到 1 之间。理论上 f 值应随组织微循环灌注的增加而增大。

在 IVIM 研究中,通常要求采集多个 b 值的数据,

当 b 值 $< 200\text{s}/\text{mm}^2$ 时的获得的灌注参数主要反映的是血流灌注效应,而 b 值 $> 200\text{s}/\text{mm}^2$ 时则反映了真实的水分子扩散情况。IVIM 基于非线性拟合算法得到 D 、 D^* 和 f 值可达到无创性反映组织内灌注情况的目的,从而避免了对比剂过敏反应及相关的肾源性系统性纤维化等。

2. IVIM-DWI 定量参数评价子宫微循环月经周期变化

子宫是个激素依赖器官,以往的研究大部分注重月经周期改变对子宫形态学影响的相关研究,他们证实内膜厚度及子宫体积随性激素(同时包括年龄和月经周期)的变化而变化^[10-11]。本研究主要观察育龄期女性月经周期改变导致子宫三层结构的微血管灌注信息的变化趋势,为今后鉴别早期子宫病变与正常子宫血流灌注之间的差异提供定量依据。

本研究结果显示,仅子宫内膜在经前期与经期、经期与增生早期以及结合带在经前期与经期、经前期与增生早期, f 值的差异具有统计学意义,其余各组间 IVIM 定量参数比较差异无统计学意义。内膜 f 值在增生早期到经前期这段时间内呈现先上升后下降,且在增生晚期达峰值的变化趋势,此种变化趋势符合内膜微血管在月经周期的变化规律。增生早期雌孕激素较少,结合带细胞排列紧密,间质内有较直而壁薄的小动脉向内膜表面生长,小动脉直、口径小、血液流速快、血流量大;随着雌激素水平逐渐升高,到排卵前达第一个峰值,结合带内皮细胞增大,胞浆内含水量逐渐增多,小动脉、螺旋动脉逐渐卷曲、增粗,血流速度逐渐减

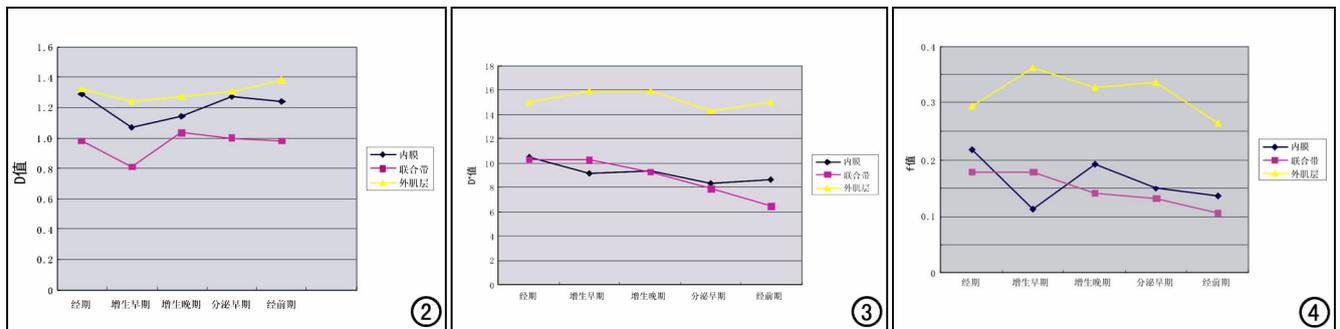


图2 同一生理周期时子宫三层结构 D 值的线条图,显示外肌层的 D 值高于内膜和结合带,且内膜 D 值要高于结合带。

图3 同一生理周期时子宫三层结构的 D^* 值的线条图,显示外肌层的 D^* 值高于内膜和结合带,但内膜与结合带的 D^* 值在月经周期中出现重叠。

图4 同一生理周期时子宫三层结构的 f 值的线条图,显示外肌层的 f 值高于内膜和结合带,但内膜与结合带的 f 值在月经周期中出现重叠。

慢;排卵后雌激素有所下降,随黄体的发育,雌孕激素再次增高达峰值水平,小动脉、螺旋动脉更加卷曲、增粗,血流速度进一步减慢,螺旋动脉受压更加迂曲,血管内血流瘀滞。这与 Thomassin-Naggara 等^[12]的研究结果类似,他利用磁共振对比剂灌注成像的方法发现结合带的微循环灌注在月经周期内不同时期之间差异有统计学意义,且在排卵前(卵泡期)组织血流量和血容量达到峰值,而在排卵后(黄体期)时降至低谷,而外肌层却没有这种变化。

内膜和结合带的 D 和 D* 值在月经周期内各个时期进行两两比较,差异均无统计学意义,可能的原因是这两个定量参数对于内膜以及结合带在月经不同周期中水分子扩散以及毛细血管血流流速的细微变化不敏感所致。D* 值差异无统计学意义也可能是因为其具有较大的标准差,数据的不稳定性和对信噪比水平的依赖性^[13]。外肌层的 D、D* 和 f 值在子宫生理周期不同时期之间的差异均无统计学意义,这表明外肌层微循环灌注相对稳定,不随月经生理周期而变化。

子宫内膜和结合带在子宫各个生理周期中的 D* 和 f 值的差异均无统计学意义,表明子宫内膜和结合带之间的微循环灌注在月经不同周期是同步变化的。这与 Kido 等^[9]的研究结果一致,他认为育龄期女性子宫各层结构包括内膜和结合带的 ADC 值随月经周期变化而改变。因为子宫内膜和结合带一样起源于副中肾管,结合带的雌孕激素受体同内膜一样随月经周期变化而变化,提示结合带和内膜组成一个功能单位。本研究中子宫内膜与外肌层、结合带与外肌层的 D* 和 f 值在增生早期、分泌早期、经前期的差异均具有统计学意义,而与增生晚期 D* 值的差异不具有统计学意义。可能是因为增生晚期内膜的微血管灌注达到顶峰,其与外肌层的微血管灌注差异缩小。这提示我们采用 IVIM 对子宫病变进行评价时,需考虑子宫三层结构 IVIM 定量参数值受月经周期变化的影响。最好选择在增生早期、分泌早期和经前期进行检查,这样可以避免经期子宫内膜剥脱出血和增生晚期对测量结果的影响。月经期内膜 D* 和 f 值最高,其原因可能是因为月经期内膜剥脱出血,内膜毛细血管血流量增大所致。另外我们还注意到,本研究中外肌层的 D* 及 f 值在月经不同周期均较内膜和结合带要高,根据 IVIM 理论,D* 和 f 值很大程度上取决于组织微循环灌注的丰富程度,可能的原因是本实验受试者均为育龄期女性,子宫肌层微血管密度仍较内膜丰富。同时我们注意到同一生理周期中扩散系数 D 值在内膜与结合带、结合带与肌层间两两比较时,差异均有统计学意义,且 D 值的大小为结合带<内膜<外肌层。原因是结合带有着紧凑的平滑肌束,使其水分子含量减少、细胞外间

隙减少,质核比降低,肌细胞排列更紧密^[14]。这些特征导致 T₂ 值缩短,扩散受限,这也导致了结合带 ADC 值最低,故其 D 值也最低。对于内膜而言,其含有更多的基质,血管内皮细胞以及丰富的腺体,而且内膜还含有比如说粘附分子、CD44 这样的特殊化学分子和细胞。这些分子和细胞被认为是与纤维连接蛋白以及胶原蛋白桥接有诸多相关性^[15]。这些特殊的微环境结构导致细胞密度增加,水分子扩散受限,使得内膜相对于肌层而言 ADC 值较低,故其 D 值也相对较低。外肌层由基质平滑肌细胞和纤维连接组织有关,这意味着较大的细胞外间隙和相应最大的 ADC 值^[16]。这一结果与常规单指数模型 DWI 所得结果一致^[17]。因此,我们认为 D 值可以很好地反映月经周期中子宫三层结构的水分子扩散情况,有望用于监测子宫病变特别是子宫内膜癌的疗效和鉴别肿瘤的复发。

3. 研究不足之处

本研究也有不足之处。首先,本研究中样本量较少且 IVIM 序列中小于 200s/mm² 的 b 值较少,故需要进一步加大样本量及选用更多小 b 值来验证 IVIM 定量参数对内膜疾病的评价效能;其次,分析 IVIM 数据的后处理软件尚不能完全统一,且在目前的标准工作站上是没有配备的,因此限制了它在临床实际工作中的应用;另外,低 b 值 DWI 时组织信号对信噪比的变化较敏感,且不同 b 值和个数的组合会导致不同结果,故需要进一步深入研究,找出最合适的 b 值和数量。

综上所述,基于常规 DWI 序列的 IVIM 双指数模型不仅能提供准确客观的组织内水分子扩散信息,而且无需使用对比剂即可获取子宫各层结构微循环灌注的定量信息。认识正常子宫三层结构的微循环灌注信息是我们进一步研究子宫病变的基础,正常子宫 IVIM 定量参数值的测量将有助于我们与某些早期子宫病变进行鉴别诊断。

参考文献:

- [1] Sala E, Wakely S, Senior E, et al. MRI of malignant neoplasms of the uterine corpus and cervix[J]. AJR, 2007, 188(6): 1577-1587.
- [2] Kunz G, Beil D. Characterization of the uterine junctional zone prior to IVF/ICSI: an observational study[J]. Arch Gynecol Obstet, 2010, 281(5): 945-953.
- [3] Rechichi G, Galimberti S, Signorelli M, et al. Endometrial cancer: correlation of apparent diffusion coefficient with tumor grade, depth of myometrial invasion, and presence of lymph node metastases[J]. AJR, 2011, 197(1): 256-262.
- [4] Beddy P, Moyle P, Kataoka M, et al. Evaluation of depth of myometrial invasion and overall staging in endometrial cancer: comparison of diffusion-weighted and dynamic contrast-enhanced MR imaging[J]. Radiology, 2012, 262(2): 530-537.
- [5] 储彩婷, 李文华, 崔艳芬, 等. MR 弥散加权成像在子宫内膜良恶

- 性病变中的鉴别价值[J]. 医学影像学杂志, 2012, 22(11): 1915-1919.
- [6] 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.
- [7] Lee EY, Yu X, Chu MM, et al. Perfusion and diffusion characteristics of cervical cancer based on intravoxel incoherent motion MR imaging—a pilot study[J]. Eur Radiol, 2014, 24(7): 1506-1513.
- [8] Lee EY, Hui ES, Chan KK, et al. Relationship between intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MRI and dynamic contrast-enhanced MRI in tissue perfusion of cervical cancers[J]. J Magn Reson Imaging, 2015, 42(2): 454-459.
- [9] Kido A, Kataoka M, Koyama T, et al. Changes in apparent diffusion coefficients in the normal uterus during different phases of the menstrual cycle[J]. Br J Radiol, 2010, 83(990): 524-528.
- [10] Hoad CL, Raine-Fenning NJ, Fulford J, et al. Uterine tissue development in healthy women during the normal menstrual cycle and investigations with magnetic resonance imaging[J]. Am J Obstet Gynecol, 2005, 192(2): 648-654.
- [11] Demas BE, Hricak H, Jaffe RB. Uterine MR imaging: effects of hormonal stimulation[J]. Radiology, 1986, 159(1): 123-126.
- [12] Thomassin-Naggara I, Balvay D, Cuenod CA, et al. Dynamic contrast-enhanced MR imaging to assess physiologic variations of myometrial perfusion[J]. Eur Radiol, 2010, 20(4): 984-994.
- [13] Marzi S, Piludu F, Vidiri A. Assessment of diffusion parameters by intravoxel incoherent motion MRI in head and neck squamous cell carcinoma[J]. NMR Biomed, 2013, 26(12): 1806-1814.
- [14] Scoutt LM, Flynn SD, Luthringer DJ, et al. Junctional zone of the uterus: correlation of MR imaging and histologic examination of hysterectomy specimens[J]. Radiology, 1991, 179(2): 403-407.
- [15] He Q, Lesley J, Hyman R, et al. Molecular isoforms of murine CD44 and evidence that the membrane proximal domain is not critical for hyaluronate recognition[J]. J Cell Biol, 1992, 119(6): 1711-1719.
- [16] Kuang F, Ren J, Huan Y, et al. Apparent diffusion coefficients of normal uterus in premenopausal women with 3.0T magnetic resonance imaging[J]. J Comput Assist Tomogr, 2012, 36(1): 54-59.
- [17] Cao K, Gao M, Sun YS, et al. Apparent diffusion coefficient of diffusion weighted MRI in endometrial carcinoma: relationship with local invasiveness[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(8): 1926-1930.

(收稿日期: 2015-12-03 修回日期: 2016-04-01)

欢迎订阅 2017 年《中国医学影像技术》

《中国医学影像技术》杂志于 1985 年创刊,是由中国科学院主管,中国科学院声学研究所主办的国家级学术期刊。刊号:ISSN 1003-3289, CN 11-1881/R。曾获百种中国杰出学术期刊,现为中国精品科技期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库核心期刊、《中文核心期刊要目总览》收录期刊、荷兰《医学文摘》收录源期刊、英国《科学文摘》收录源期刊、俄罗斯《文摘杂志》收录源期刊、波兰《哥白尼索引》收录源期刊、《日本科学技术振兴机构中国文献数据库》(JSTChina)收录期刊。

《中国医学影像技术》杂志是临床医学影像学及影像医学工程及理论研究相结合的综合性学术期刊,刊登放射、超声、核医学、介入治疗、影像技术学、医学物理与工程学等方面的基础研究及临床实验研究的最新成果。以论文质量优、刊载信息量大、发刊周期短为其特色,是我国影像医学研究探索和学术交流的良好平台。

《中国医学影像技术》为月刊,160 页,大 16 开本,彩色印刷。单价 20 元,全年定价 240 元。订户可随时向当地邮局订,邮发代号 82-509;亦可向编辑部直接订阅,免邮寄费(欢迎通过银行转账,附言栏请注明订杂志名称)。

联系电话:010-82547903 传真:010-82547903

E-mail: cjmit@mail.ioa.ac.cn 网址: www.cjmit.com

微信公众号: cjmit1985 编辑部地址: 北京市海淀区北四环西路 21 号大猷楼 502 室 邮编: 100190

银行账户名: 《中国医学影像技术》期刊社 账号: 110907929010201

开户行: 招商银行北京分行清华园支行 联系人: 田苗