DOI:10.13406/j.cnki.cyxb.000837

DTI纤维示踪成像应用于活体子宫肌瘤的可行性研究

李　佳，吕富荣，肖智博，吕发金，陈　波，屈亚林，赵飞飞
（重庆医科大学附属第一医院放射科，重庆　400016）

【摘　要】**目的**：探讨磁共振扩散张量成像（MR diffusion tensor imaging，DTI）纤维示踪成像在活体子宫肌瘤应用的可行性，比较普通型与非普通型子宫肌瘤相关 DTI 参数指标有无差异。**方法**：将 24 例子宫肌瘤患者行常规 MRI 平扫及 DTI 扫描，共 36 个子宫肌瘤，测量肌瘤的表观扩散系数（apparent diffusion coefficient，ADC）值、部分各项异性（fractional anisotropy，FA）值、纤维束密度、最长纤维束长度及平均纤维束长度。应用独立样本 t 检验进行普通型（21 个）与非普通型（15 个）2 组子宫肌瘤间各测量指标的比较。**结果**：所有子宫肌瘤均获得较满意的纤维束重建图像，普通型子宫肌瘤的 ADC 值明显低于非普通型[普通型：$(1.479 \pm 0.214) \times 10^{-3}$ mm²/s，非普通型：$(1.706 \pm 0.308) \times 10^{-3}$ mm²/s，P=0.013]、FA 值则明显高于非普通型（普通型：0.317 ± 0.085，非普通型：0.261 ± 0.053，P=0.031）、纤维束密度无统计学差异（普通型：130.524 ± 56.549 条/ml、非普通型：137.333 ± 43.483 条/ml，P=0.699）、最长纤维束长度及纤维束平均长度与肌瘤最大直径的比值均是普通型肌瘤明显高于非普通型（普通型：1.405 ± 0.418、0.318 ± 0.090；非普通型：0.983 ± 0.247、0.210 ± 0.060，P=0.001、0.000）。**结论**：DTI 纤维示踪技术重建的子宫肌瘤纤维束是可行的，普通型与非普通型两组不同病理类型子宫肌瘤的 ADC 值、FA 值及纤维束长度存在统计学差异，与镜下表现相一致。

【关键词】纤维示踪成像；扩散张量成像；子宫肌瘤；普通型；非普通型
【中图分类号】R445.2　　【文献标志码】A　　【收稿日期】2015-08-13

Feasibility of applying DTI fibre tractography in uterine fibroid *in vivo*

Li Jia, Lyu Furong, Xiao Zhibo, Lyu Fajin, Chen Bo, Qu Yalin, Zhao Feifei
(*Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University*)

【Abstract】***Objective***: To explore the feasibility of applying MR diffusion tensor imaging(DTI) fibre tractography in uterine fibroids *in vivo*, and to compare the difference of related DTI measurements between the ordinary and extraordinary uterine fibroids. ***Methods***: Routine MRI scanning and DTI scan at a 3.0T MRI scanner was performed on 24 patients with 36 uterine fibroids. The apparent diffusion coefficient(ADC) value, fractional anisotropy(FA) value, density of fiber bundle, length of the longest fibre bundle and the average length of fibre bundles were measured and collected. The comparison of all data between the ordinary(n=21) and extraordinary uterine fibroids(n=15) were analyzed using independent-samples t-test. ***Results***: Satisfactory reconstruction images of all uterine fibroids were obtained, and the ADC values were significant lower in ordinary fibroids than in extraordinary ones[ordinary: $(1.479 \pm 0.214) \times 10^{-3}$ mm²/s, extraordinary: $(1.706 \pm 0.308) \times 10^{-3}$ mm²/s, P=0.013]. FA values were significantly higher in ordinary fibroids than in extraordinary ones(ordinary: 0.317 ± 0.085, extraordinary: 0.261 ± 0.053, P=0.031); the density of fiber bundles between two types of uterine fibroids had no significant difference[ordinary: (130.524 ± 56.549) strip/ml, extraordinary: (137.333 ± 43.483) strip/ml, P=0.699], the ratio between the length of the longest fibre bundle or the average length of fibre bundles against the largest diameter of fibroids in ordinary fibroids were significant larger than that of extraordinary ones (ordinary: 1.405 ± 0.418, 0.318 ± 0.090, extraordinary: 0.983 ± 0.247, 0.210 ± 0.060, P=0.001, 0.000). ***Conclusion***: DTI fiber technology applied in reconstructing fiber bundles of uterine fibroids is feasible. The ADC values, FA values, length of fibre bundles of fibroids of different pathological types are significantly different and are consistent with the microscopic appearance.

【Key words】fiber tractography; diffusion tensor imaging; uterine fibroid; ordinary; extraordinary

作者介绍：李　佳，Email：792092503@qq.com，
研究方向：妇产科影像学。
通信作者：吕富荣，Email：lfr918@sina.com。
基金项目：国家临床重点专科建设经费资助项目（编号：国卫办医函[2013]544 号）。
优先出版：http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1046.r.20160109.2044.018.html（2016-01-09）

磁共振扩散张量成像(diffusion tensor imaging，DTI)是一种在磁共振弥散加权成像(diffusion weighted imaging，DWI)基础上，通过检测组织中水分子弥散速度，以及利用扩散敏感梯度从多个方向对水分子的各向异性进行量化，以进一步反应组织病理改变的一种成像方法。为了更直观显示组织中水分子扩散张量，在 DTI 的基础上又进一步发展了纤维示踪成像(fiber Tractography，FT)，即利用局部张量信息，从“种子点”体素开始沿计算该种子点前进方向上的向量进行跟踪一段距离后，再以前进方向上新的体素为起点继续追踪，反复迭代上述过程，结合计算机三维重建将所有点连接起来，显示纤维三维结构整体连续及其空间分布情况的一种检查技术[1-2]。DTI 纤维示踪成像技术目前是观察活体组织微观组织结构唯一的无创检查方式，且在中枢神经系统的应用较广泛[3]。子宫肌瘤是育龄期妇女生殖系统最常见的良性肿瘤，发病率约 20%~40%[4]，部分报道发病率甚至达 70%[5]。子宫肌瘤 MRI 表现多样，病理亚型较多，根据曹泽毅著[6]中华妇产科学分为普通型与特殊类型，其中特殊类型包括富于细胞型、上皮样、黏液样及血管平滑肌瘤等，另肌瘤变性坏死多见。目前子宫肌瘤的治疗方法多种，以微无创治疗的发展尤其迅速，但微无创治疗缺乏术前病理诊断，能否将 DTI 纤维示踪技术应用于子宫肌瘤，且进一步提供更多病理信息，是本研究的目的所在。

1 材料和方法

1.1 病例选择

搜集 2014 年 12 月至 2015 年 3 月于本院欲行子宫全切或肌瘤剥除术的子宫肌瘤患者 24 例[24~56 岁，平均(40.29±7.29)岁]，且最终均得到病理证实，所有患者术前行常规 MRI 平扫、增强、DWI 及 DTI 扫描。纳入标准：①单纯子宫肌瘤患者；②最大层面直径大于 2 cm 且不超过 12 cm 的子宫肌瘤；③未经药物或手术治疗的子宫肌瘤。排除标准：①阔韧带肌瘤及宫颈肌瘤；②有其他妇科疾病史，如子宫内膜异位症、宫颈癌等；③妊娠期、哺乳期子宫肌瘤患者；④有 MRI 禁忌证及钆剂过敏患者；⑤有腹泻疾病、正在使用促胃肠运动药物的病人。本研究已通过我院伦理委员会审核批准，所有病人均签署知情同意书。

1.2 设备和方法

1.2.1 MRI 检查方法 所有患者均采用美国 GE 公司生产的 3.0T MRI 设备(Singa HD Excite，GE healthcare，USA)，8通道相控阵腹部线圈。受检者检查前排空膀胱，患者仰卧位。扫描常规横轴位 T1WI，采用 SE 序列(FOV 38 cm×38 cm，矩阵 384×180，层厚 6 mm，层间距 2 mm，TE=10 ms，TR=600 ms，激励次数 1 次)；常规横轴位、冠状位及矢状位 T2WI，采用 FRFSE 序列(FOV 38 cm×38 cm，矩阵 288×256，层厚 6 mm，层间距 2 mm，TE=105 ms，TR=3 480 ms，激励次数 2 次)；DWI 扫描采用 SE-EPI 序列轴位扫描(TR=5 700 ms，TE=65.7 ms，层厚 5 mm，层间距 0 mm，FOV 38 cm×38 cm，矩阵 128×128，b=800 s/mm^2，激励次数 2)；DTI 扫描采用扩散加权矢状位自旋平面回波(SE—EPI)脉冲扫描(FOV 31 cm×31 cm，矩阵 128×128，层厚 2 mm，层间距 0 mm，TE=80 ms，TR=8 000 ms，b 值取 0 s/mm^2 和 600 s/mm^2，30 个梯度方向，激励次数 4)；增强扫描采用 LAVA 序列扫描(FOV 38 cm×38 cm，矩阵288×256，层厚 2 mm，层间隔 0 mm，Slab 50 cm)，17 s 一期，共扫描 5 期，对比剂使用欧乃影 0.5 mmol/ml，0.1 mmol/kg 体重，注射速率 2~3 ml/s，一共扫描时间 40~45 min。

1.2.2 病理标本处理与病理表现 子宫全切术或肌瘤剥除术后，将子宫肌瘤标本取出放入 4 ℃冰盒内，30 min 内到实验室，进行病理检查。将石蜡包埋的肌瘤组织每块切 6 张厚约 6 μm 的切片，其中 3 张用于 HE 染色(上海顺强化学试剂有限公司)，3 张用于苦味酸-天狼猩红染色(美国 PEPROTECH 公司)。其余密封保存。

HE染色操作步骤如下：切片置于 60 ℃烤箱中烘烤 2.5 h，二甲苯 15 min×3 脱蜡→脱水→水化 15 min→苏木素染色 5~10 min，冲洗→先后 1%盐酸酒精与氨水中浸泡→1%伊红染色 5 min→脱水→干燥后二甲苯透明树胶封存

苦味酸-天狼猩红染色操作步骤如下：切片水化后苏木素染色 15 min→冲洗→0.4%苦味酸-天狼猩红染液染色 30 min→冲洗→无水酒精脱水→干燥后二甲苯透明树胶封片

镜下可见普通型子宫肌瘤内肌瘤细胞均匀一致，栅栏状排列，排列较规则，含大量细胞外基质，主要是胶原纤维；非普通型子宫肌瘤中富于细胞型肌瘤内细胞密集，大小形态较一致，细胞核深染，胞浆少，核分裂象<5/10HPF，细胞外间质少；黏液样变性肌瘤内瘤细胞呈弱嗜碱性；坏死区以液化性坏死为主。

1.3 图像分析与后处理

1.3.1 功能数据预处理 首先准确记录所有子宫肌瘤部位及大小，尤其是多发肌瘤，以便与病理标本对应观察。将 DTI 原始数据 DICOM 格式转换为 NIFTI 格式，输入 MATLAB (7.10.0.499 版本，http://cn.mathworks.com)软件中，剔除前 4 个 b=0 s/mm^2 时相，然后制作数据梯度表。

1.3.2 本实验感兴趣区(region of interest，ROI)的设置 ROI 是本研究关键步骤，所有 ROI 设置在 MRIcroN 软件中进行。将转换格式后的 DTI 数据输入 MRIcroN 软件，在显示的图像中逐层手动勾画，每层包含所有肌瘤组织，最终将整个子宫肌瘤作为 1 个ROI。所有 ROI 由 1 名有经验的放射科医生进行勾画，共勾画 3次，每次间隔 3~4 周。

1.3.3 纤维束追踪 最后使用 Diffusion Toolkit(0.6.2.2 版本)软件与 TrackVis(0.5.2.2 版本)软件(Martinos Center for Biomedical Imaging,Massachusetts General Hospital,http://www.trackvis.org)进行纤维示踪成像。纤维示踪采用模板 Z,示踪角度阈值设定为 35°,追踪纤维束的最小长度设定为 5 mm,软件自动追踪出每个 ROI 即子宫肌瘤的体素、ADC 值、FA 值、纤维束数量、平均纤维束长度及最长纤维束长度,并统计这些参数值。取 3 次勾画的 ROI 所得的 3 次结果平均值为最终有效值。

1.4 统计学处理

采用 SPSS 19.0 统计学软件进行统计学检验,结果采用均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)进行描述。统计所有子宫肌瘤的 ADC 值、FA 值、纤维束密度、纤维束平均长度及最长纤维束长度。比较普通型子宫肌瘤与非普通型肌瘤最长纤维束长度及平均纤维束长度有无差异时,为排除肌瘤大小对纤维束长度的影响,采用最长纤维束长度及平均纤维束长度与肌瘤最大直径的比值进行比较。所有数据先采用进行参数正态分布及方差齐性检验,最后 2 种类型子宫肌瘤的各参数比较采用独立样本 t 检验,检验水准 α=0.05。

2 结 果

2.1 MRI 表现

普通型子宫肌瘤组共 21 个(58.33%),非普通型肌瘤组 15 个(41.67%),包括富于细胞型、黏液样变性及坏死 3 类,其 MRI 表现见表 1。

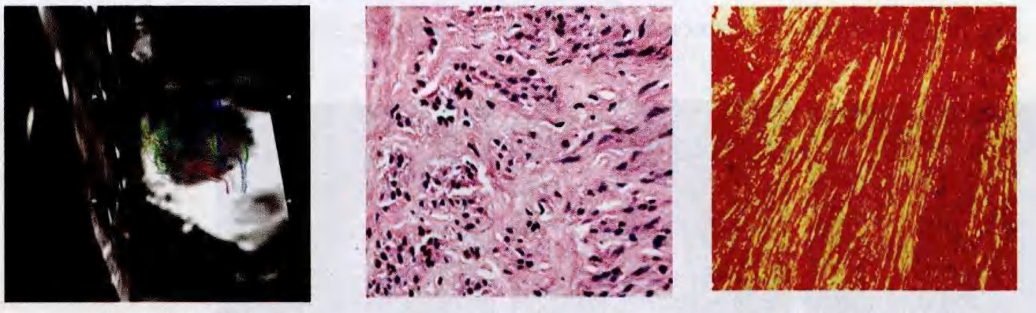
2.2 DTI 后处理结果

本研究观察到普通型子宫肌瘤纤维束排列密集、紊乱,黏液样变性或大片坏死区纤维束短而稀疏,与病理解剖结构表现相似,且对应良好(图 1、2)。其中 1 个子宫肌瘤中央约 2/3 面积为黏液样变性坏死区, 重建的纤维束显示肌瘤周边纤维束密集,主要呈环形走行,中央黏液样变性区域纤维束稀疏,完全符合镜下表现(图 3)。且获得所有子宫肌瘤的相关 DTI 参数:ADC 值=(1.573 ± 0.278)×10^{-3} mm^2/s、FA 值=0.294 ± 0.077、纤维束密度=(133.361 ± 50.943)条/ml、最长纤维束长度=(60.927 ± 19.414) mm、平均纤维束长度=(13.195 ± 3.497) mm。

比较普通型子宫肌瘤与非普通型肌瘤的 DTI 特点,2 组



A. 矢状位 T2WI 图像　B. 增强后延迟期图像　C. DTI 纤维束成像



D. DTI 纤维束成像　E. 肌瘤组织切片 HE 染色　F. 肌瘤组织切片纤维束染色

注:女性,49 岁,多发子宫肌壁间肌瘤,最大者位于前壁,大小约 5.1 cm × 4.8 cm × 4.9 cm,病理证实普通型肌瘤。T2WI 呈均匀低信号(A);增强扫描延迟期均匀强化(B);纤维示踪成像肌瘤纤维束长而密集,纤维束主要红、绿、蓝 3 种颜色,分别表示沿 X、Y、Z 3 个轴向方向走行,周边呈明显的一致环形走行(C、D)。ADC 值=1.28×10^{-3} mm^2/s,FA 值=0.32,纤维束密度=129 条/ml,最长纤维束长度=60.55 mm,平均纤维束长度=11.57 mm。肌瘤组织切片 HE 染色下可见细胞较少,细胞外间质多(E,400×),苦味酸-天狼猩红纤维束染色示纤维束密集,走行较一致(F,400×)

图 1 普通型子宫肌瘤常规 MRI、纤维束及病理表现

Fig.1 Routine MR characteristics, fiber bundle imaging and pathological appearances of ordinary leiomyoma

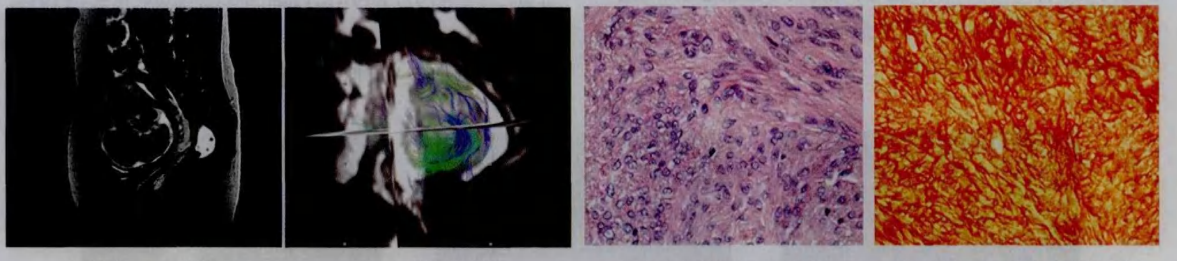
肌瘤 ADC 值、FA 值、纤维束密度、最长纤维束长度及平均纤维束长度符合正态分布，两样本方差齐，普通型子宫肌瘤 ADC 值明显低于非普通型（t=-2.619，P=0.013），而普通型肌瘤 FA 值高于非普通型，差异有统计学意义（t=2.251，P=0.031），两型子宫肌瘤纤维束密度无统计学差异（t=-0.391，P=0.699），最长纤维束长度及纤维束平均长度与肌瘤最大直径的比值均是普通型肌瘤明显高于非普通型（前者 t=3.487，P=0.001，后者 t=4.046，P=0.000）（表 2）。

表 1 不同病理类型肌瘤的 MRI 表现

Fig.1 Routine MR characteristics of leiomyomas with different pathological types

MRI表现	普通型肌瘤（21 个）	非普通型肌瘤		
		富于细胞型（6 个）	黏液样变（5 个）	单纯坏死[a]（4 个）
T1WI	等信号	等信号	等/低信号	不均匀低信号
T2WI	等/低信号	均匀/混杂高信号	混杂高信号	混杂高/等信号
DWI	等信号	5个高信号，1 个等信号[b]	等/高信号[c]	等/高信号[c]
强化方式	均匀	均匀/不均匀	不均匀	不均匀
强化程度	与肌层相似或稍高、稍低于肌层	高于正常肌层	大部分区域低于肌层	实性部分与肌层相似或低于肌层

注：a，部分富于细胞型及黏液样变肌瘤也存在大小不等坏死区；b：DWI 高信号可能与富于细胞型肌瘤细胞密集、增生活跃有关；c：DWI 高信号与 T2 穿透效应有关

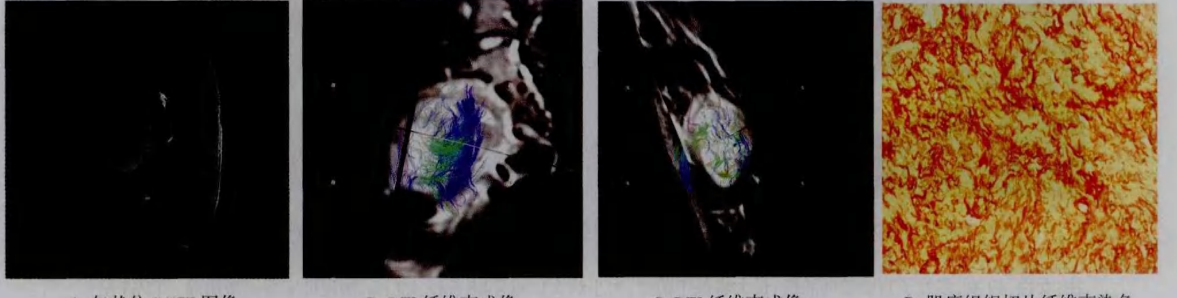


A. 矢状位 T2WI 图像　B. DTI 纤维束成像　C. 肌瘤组织切片 HE 染色　D. 肌瘤组织切片纤维束染色

注：女性，37 岁，单发子宫前壁肌壁间肌瘤，最大者位于前壁，大小约 7.7 cm × 6.8 cm × 7.2 cm，病理证实富于细胞型肌瘤。T2WI 呈混杂高信号（A）；纤维示踪成像肌瘤纤维束较长，走行杂乱，局部稀疏（B）；ADC 值=1.69 × 10^{-3} mm^2/s，FA 值=0.22，纤维束密度=122 条/ml，最长纤维束长度=65.38 mm，平均纤维束长度=13.04 mm。肌瘤组织切片 HE 染色下可见细胞密集，核大深染，细胞外间质少（C，400 ×），苦味酸-天狼猩红纤维束染色示纤维束较密集，走行紊乱，形态不规则（D，400 ×）

图 2 富于细胞型子宫肌瘤常规 MRI、纤维束及病理表现

Fig.2 Routine MR characteristics，fiber bundle imaging and pathological appearances of cellular leiomyoma



A. 矢状位 T2WI 图像　B. DTI 纤维束成像　C. DTI 纤维束成像　D. 肌瘤组织切片纤维束染色

注：女性，42 岁，子宫底壁肌瘤，大小约 6.8 cm × 4.8 cm × 6.1 cm，肌瘤中央大片黏液样变性，ADC 值=2.29×10^{-3} mm^2/s，FA 值=0.30，纤维束密度=83 条/ml，最长纤维束长度=56.86 mm，平均纤维束长度=12.06 mm。T2WI 呈显著高信号（A）；纤维束成像可见肌瘤大部分区域纤维束短而稀疏，周边纤维束较密集，环形走行（B、C）；苦味酸-天狼猩红纤维束染色示纤维束稀疏，走行紊乱，形态不规则（D，400 ×）

图 3 黏液样平滑肌瘤常规 MRI、纤维束及病理表现

Fig.3 Routine MRI，fiber bundle and pathological appearances of a myxoidosis leiomyoma

表 2 比较普通型子宫肌瘤与非普通型子宫肌瘤相关 DTI 参数差异（$\bar{x} \pm s$）

Tab.2 Comparison of the related DTI measurements between the ordinary leiomyomas and extraordinary uterine fibroids（$\bar{x} \pm s$）

子宫肌瘤病理类型	样本	ADC值（$\times 10^{-3}$ mm²/s）	FA值	纤维束密度（条/ml）	最长纤维束长度/肌瘤最大直径	平均纤维束长度/肌瘤最大直径
普通型	21	1.479 ± 0.214	0.317 ± 0.085	130.524 ± 56.549	1.405 ± 0.418	0.318 ± 0.090
非普通型	15	1.706 ± 0.308	0.261 ± 0.053	137.333 ± 43.483	0.983 ± 0.247	0.210 ± 0.060
t 值		−2.619	2.251	−0.391	3.487	4.046
P 值		0.013	0.031	0.699	0.001	0.000

3 讨 论

目前子宫肌瘤微无创治疗是主流治疗方式，且治疗方案多种，如子宫动脉灌注栓塞、高强度聚焦超声消融等，疗效各不相同，这均肌瘤病理亚型、微观结构、血流微灌注等有关[7-9]，因此获得更多子宫肌瘤的病理信息对于缺乏病理诊断及组织病理结构分析的微无创治疗尤为重要。DTI 技术是目前唯一能提供活体组织微观解剖结构及功能信息的无创的检查手段，已广泛应用于中枢神经系统[10-11]。DTI 纤维示踪技术在腹部的应用也越来越受到关注，有学者研究子宫肌层的纤维束成像，发现利用 DTI 重建子宫肌层纤维，其形态、方向与病理解剖结构相一致[12-14]，但关于子宫肌瘤的研究较少。此前国外有学者分析了离体子宫肌瘤的 DTI 特点[15]，比较了离体肌瘤实性区域及黏液样变区域、正常肌层的 MD 值及 FA 值的差异，并未关注不同类型肌瘤的整体，且离体标本微环境不同于活体组织，所得的相关参数可能与活体子宫肌瘤存在差异，另样本量不大，未讨论不同病理亚型的差异。本文旨在结合子宫肌瘤病理解剖结构，讨论 DTI 纤维示踪技术应用与子宫肌瘤的可行性，观察活体子宫肌瘤 DTI 及重建纤维束的特点，比较不同病理类型子宫肌瘤的 DTI 相关参数有无差异。

肌瘤组织主要是肌瘤细胞及细胞外间质组成，细胞外间质主要是胶原纤维、黏蛋白等，理论上可以通过纤维示踪技术追踪肌瘤组织细胞外间隙水分子运动轨迹，获得纤维束结构图像。从镜下观察肌瘤组织，发现平滑肌瘤细胞形态与周边肌层内平滑肌细胞微观表现相似，但细胞外间质差异较大，肌瘤实性部分细胞外含大量胶原纤维、黏蛋白等，排列紧密，走向杂乱，且不同病理类型的肌瘤镜下结构各不相同，这与其他学者的研究结果一致[16-18]。观察本次研究重建的子宫肌瘤纤维束，排列密集、紊乱，3 个轴向方向纤维束数量各不相同，黏液样变性或大片坏死区纤维束短而稀疏，与肌瘤的镜下结构表现相似，对应良好，且纤维束走行方向与肌瘤内部纤维束走行方向一致，以肌瘤边缘表现明显，说明 DTI 纤维示踪技术在子宫肌瘤的应用是可行的。

子宫肌瘤存在不同病理亚型，且变性坏死多见，所有病理亚型中以普通型肌瘤最多见，本次 36 个子宫肌瘤普通型肌瘤共 21 个，T2WI 呈低、等信号，增强扫描均匀强化，镜下可见肌瘤细胞排列较紧密，细胞外基质主要是大量胶原纤维，含水少。而非普通型子宫肌瘤 T2WI 表现多样，多呈高信号或混杂高信号，镜下表现方式亦多种：富于细胞型子宫肌瘤内含大量密集排列的肌瘤细胞，细胞外间质少，细胞间隙小；黏液样变性肌瘤变性区域呈凝胶状，肌瘤细胞较少，含水多。本次研究结果示普通型子宫肌瘤的 ADC 值显著低于非普通型，FA 值高于非普通型，可能是普通型肌瘤细胞外大量的胶原纤维明显阻碍了水的自由扩散，纤维束走行较非普通型肌瘤完整规则所致。观察其他类型子宫肌瘤，富于细胞型子宫肌瘤虽然平滑肌细胞排列紧密，细胞间隙变小，但细胞外含水少，故追踪到的水分子较少；黏液样变性或存在坏死的子宫肌瘤内含水多，存在部分自由水，而细胞外间隙较宽，故水分子弥散相对于普通型肌瘤呈不受限状态。

为排除子宫肌瘤大小对纤维束长度的影响，本研究比较的是两组子宫肌瘤最长纤维束长度与肌瘤最大直径的比值、纤维束平均长度与肌瘤最大直径的比值，通过肌瘤纤维束长度与最大直径的倍数关系反映纤维束长短差异。研究发现普通型子宫肌瘤的最大纤维束长度及纤维束平均长度与肌瘤最大直径的比值均显著高于非普通型子宫肌瘤。观察两种类型的子宫肌瘤镜下表现，普通型子宫肌瘤纤维束更完整，而富于细胞型肌瘤细胞外间质含纤维

束少，子宫肌瘤的黏液样变性或坏死区域几乎不含纤维束，追踪到该区域的纤维束出现断裂，与 DTI纤维示踪结果相一致，同时进一步证明了该技术运用于子宫肌瘤是可行的，且不同类型子宫肌瘤其纤维束长短存在差别。

而观察普通型与非普通型子宫肌瘤的纤维束密度并无显著差异，而与镜下所见普通型子宫肌瘤含较多胶原纤维不吻合，可能与非普通型子宫肌瘤的病理类型多样有关。本研究中部分肌瘤非普通型子宫肌瘤仅区域性发生黏液样变性或者增殖活跃，细胞密集，且 10 个存在坏死的子宫肌瘤坏死区范围大小不一，其余区域的肌瘤组织与可能普通型肌瘤相似，这都可导致纤维束密度上的差异不明显。

总之，笔者认为 DTI 纤维示踪技术应用与活体子宫肌瘤是可行的，且普通型与非普通型肌瘤的ADC值、FA 值及纤维束长度均存在明显差异。本次研究尚存在一些不足，病理数量较少，并未讨论不同生理期、肌瘤不同生长部位及数量等对结果有无影响。而各种具体病理亚型子宫肌瘤的 DTI 特点、纤维束情况及与微无创治疗疗效的联系也将是本课题组下一步的研究计划。

参 考 文 献

[1] Mori S, Van Zijl PC. Fiber tracking: principles and strategies-a technical review[J]. NMR Biomed, 2002, 15(7-8): 468-480.

[2] Bammer R, Acar B, Moseley ME. In vivo MR tractography using diffusion imaging[J]. Eur J Radiol, 2003, 45(3): 223-234.

[3] Veeramuthu V, Naravanan V, Kuo TL, et al. Diffusion Tensor Imaging parameters in mild traumatic brain injur and its correlation with early neuropsychological impairment: A longitudinal study[J]. J Neurotrauma, 2015, 32(19): 1497-509.

[4] Ryan GL, Syrop CH, Van Voorhis BJ. Role, epidemiology, and natural history of benign uterine mass lesions[J]. Clin Obstet Gynecol, 2005, 48(2): 312-324.

[5] Tropeano G, Amoroso S, Scambia G. Non-surgical management of uterine fibroids[J]. Hum Reprod Update, 2008, 14(3): 259-274.

[6] 曹泽毅. 中华妇产科学[M]. 北京：人民卫生出版社，1999：1809-1813.

[7] Zhao WP, Chen JY, Zhang L, et al. Feasibility of ultrasound-guided high intensity focused ultrasound ablating uterine fibroids with hyperintense on T2-weighted MR imaging[J]. Eur J Radiol, 2013, 82(1): e43-e49.

[8] Chang S, Kim MD, Lee M, et al. Uterine artery embolization for symptomatic fibroids with high signal intensity on T2-weighted MR imaging[J]. Korean J Radiol, 2012, 13(5): 618-624.

[9] Ikink ME, Nijenhuis RJ, Verkooijen HM, et al. Volumetric MR-guided high-intensity focused ultrasound versus uterine artery embolisation for treatment of symptomatic uterine fibroids: comparison of symptom improvement and reintervention rates[J]. Eur Radiol, 2014, 24(10): 2649-2657.

[10] Kuhnt D, Bauer MH, Egger J, et al. Fiber tractography based on diffusion tensor imaging compared with high-angular-resolution diffusion imaging with compressed sensing: initial experience[J]. Neurosurgery, 2013, 72(1): 165-175.

[11] Yao L, Gai N. Median nerve cross-sectional area and MRI diffusion characteristics: normative value at the carpal tunnel[J]. Skeletal Radiol, 2009, 38(4): 355-361.

[12] Weiss S, Jaermann T, Schmid P, et al. Three-dimensional fiber architecture of the nonpregnant human uterus determined ex vivo using magnetic resonance diffusion tensor imaging[J]. Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol, 2006, 288(1): 84-90.

[13] Fiocchi F, Nocetti L, Siopis E, et al. In vivo 3 T MR diffusion tensor imaging for detection of the fibre architecture of the human uterus: a feasibility and quantitative study[J]. Br J Radiol, 2012, 85(1019): e1009-e1017.

[14] Fiocchi F, Petrella E, Nocetti L, et al. Transvaginal ultrasound assessment of uterine scar after previous caesarean section: comparison with 3T magnetic resonance diffusion tensor imagine[J]. Radiol Med, 2015, 120(2): 228-238.

[15] Thrippleton MJ, Bastin ME, Munro KI, el al. Ex vivo water diffusion tensor properties of the fibroid uterus at 7T and their relation to tissue morphology[J]. J Magn Reson Imaging, 2011, 34(6): 1445-1451.

[16] Leppert PC, Baginski T, Prupas C, et al. Comparative ultrastructure of collagen fibrils in uterine leiomyomas and normal myometrium [J]. Fertil Steril, 2004(82): 1182-1187.

[17] Sankaran S, Manyonda IT. Medical management of fibroids[J]. Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol, 2008, 22(4): 655-676.

[18] Zhao WP, Chen JY. Effect of biological characteristics of different types of uterine fibroids, as assessed with T2-weighted magnetic resonance imaging, on ultrasound-guided high-intensity focused ultrasound ablation[J]. Ultrasound Med Biol, 2015, 41(2): 423-431.

（责任编辑：冉明会）