

# 磁共振扩散张量加权成像显示正常和病变肾脏的超微结构变化\*☆

叶靖, 吴晶涛, 王军, 张萍, 董颖

## Ultrastructural changes in normal and abnormal kidney using MR diffusion tensor imaging

Ye Jing, Wu Jing-tao, Wang Jun, Zhang Ping, Dong Ying

### Abstract

**BACKGROUND:** Diffusion tensor can accurately detect diffusion anisotropy of water in each voxel, which can reflect changes in the ultrastructure of normal or abnormal kidney tissue and is beneficial to early diagnosis of kidney disease.

**OBJECTIVE:** To evaluate the clinic application of the diffusion tensor imaging (DTI) in kidney and kidney diseases.

**METHODS:** A total of 12 healthy people and 24 patients with renal lesions underwent DTI using a 3.0T MR scanning. There were 10 cases of hydronephrosis, 7 of kidney carcinoma and 7 of kidney cyst. Apparent diffusion coefficient (ADC) and fractional anisotropy (FA) values in the cortex, medulla and in lesions were calculated and analyzed retrospectively followed by medullary fiber tractography.

**RESULTS AND CONCLUSION:** In normal kidney, ADC was significantly greater in cortex than that in medulla ( $P=0.03$ ), while medullary FA was significantly greater than cortical FA ( $P < 0.05$ ). Kidney carcinoma patients exhibited lower cortical and medullary ADC but greater FA compared with the control group ( $P < 0.05$ ). DTI can reconstruct appearance of renal medullary fiber bundles to reflect renal tubule and collecting duct changes. Results demonstrate that DTI can display the ultrastructural changes in normal and lesioned kidney and can be used for early diagnosis and disease monitor of renal lesions.

Ye J, Wu JT, Wang J, Zhang P, Dong Y. Ultrastructural changes in normal and abnormal kidney using MR diffusion tensor imaging. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(43): 8053-8056. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

Department of Medical Imaging, Northern Jiangsu People's Hospital, Yangzhou University Clinical College, Yangzhou 225001, Jiangsu Province, China

Ye Jing☆, Doctor, Associate chief physician, Department of Medical Imaging, Northern Jiangsu People's Hospital, Yangzhou University Clinical College, Yangzhou 225001, Jiangsu Province, China yzhjejing@163.com

Supported by the Foundation of Yangzhou University Clinic College, No. yzucms0926\*

Received: 2010-07-01 Accepted: 2010-08-07

### 摘要

**背景:** 磁共振弥散张量可对每个体素水分子扩散的各向异性作出准确的检测。利用扩散张量成像评价肾脏及其病变内水分子运动特征, 可反映出肾组织超微结构的变化, 有利于病变的早期诊断。

**目的:** 验证磁共振扩散张量成像对正常肾脏和肾脏病变的临床诊断价值。

**方法:** 选择健康对照组 12 例和 24 例肾脏病变患者行肾脏扩散张量成像检查, 肾脏病变患者中肾癌 7 例, 肾囊肿 7 例, 肾积水 10 例。观察肾脏皮质、髓质以及病灶表现扩散系数、分数各向异性的变化, 并行髓质纤维束成像。

**结果与结论:** 正常肾脏中, 肾皮质的表现扩散系数显著高于肾髓质( $P=0.003$ ), 而肾髓质的分数各向异性显著高于肾皮质( $P < 0.05$ )。肾癌表现扩散系数低于正常肾皮质、髓质( $P < 0.05$ ), 瘤体内分数各向异性显著低于正常肾髓质( $P < 0.05$ )。肾囊肿表现扩散系数显著高于正常肾皮质、髓质( $P < 0.05$ ), 分数各向异性显著低于肾皮质和髓质( $P < 0.05$ )。扩散张量纤维束示踪图可重建出肾髓质纤维束的形态, 从而反映出肾小管和集合管的结构变化。提示扩散张量成像能显示正常肾脏和肾脏病变的超微结构变化, 可用于肾脏病变的早期诊断和病情监控。

**关键词:** 磁共振; 弥散; 张量; 肾脏病变; 正常肾脏

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2010.43.019

叶靖, 吴晶涛, 王军, 张萍, 董颖. 磁共振扩散张量加权成像显示正常和病变肾脏的超微结构变化[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(43):8053-8056. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

## 0 引言

肾脏的主要功能是尿液生成、水的重吸收和浓缩、稀释, 因而肾组织内水分子的扩散运动可反映出肾组织结构功能的完整性<sup>[1-2]</sup>。磁共振扩散张量成像可分辨出水分子扩散运动方向上的差异, 可显示组织内水分子扩散各向异性的细微异常<sup>[3-5]</sup>。随着快速平面回波技术和并行采集技术的临床运用<sup>[6-8]</sup>, 使肾脏扩散张量成像逐步走向临床<sup>[9-11]</sup>。

本文对 12 例健康肾和 24 例病变肾脏进行扩散张量成像检查, 观察正常肾脏扩散张量成像的表现, 并探讨磁共振扩散张量成像对肾脏病

变的诊断价值。

## 1 对象和方法

**设计:** 病例-对照观察。

**时间及地点:** 于 2008-10/2009-08 在江苏省苏北人民医院完成。

**对象:** 选择健康对照组 12 例和 24 例肾脏病变患者行肾脏扩散张量成像检查。健康对照组 12 例中男 6 例, 女 6 例; 年龄 32~65 岁, 平均 53 岁; 非高血压、非糖尿病且无泌尿系统疾病。24 例肾脏病变患者中男 17 例, 女 7 例; 年龄 12~63 岁, 平均 46 岁; 肾积水 10 例(均为单侧肾脏积水, 肾盂输尿管连接处狭窄 5 例, 输尿管癌

扬州大学临床学院, 江苏省苏北人民医院医学影像科, 江苏省扬州市 225001

叶靖☆, 男, 1974 年生, 江苏省扬州市人, 汉族, 2006 年南方医科大学毕业, 博士, 副主任医师, 主要从事分子影像学方面的研究。 yzhjejing@163.com

中图分类号: R318  
文献标识码: B  
文章编号: 1673-8225  
(2010)43-08053-04

收稿日期: 2010-07-01  
修回日期: 2010-08-07  
(20100701016/G·A)

1例, 输尿管结石4例), 肾细胞癌7例(均为透明细胞癌), 单纯性肾囊肿7例。所有患者尿糖、尿蛋白均为阴性, 血清尿素氮、肌酐均在正常范围内。所有患者均签署知情同意书后进行上述检查。

**方法:**

**MR扫描方法:** 采用GE 3.0T超导MR扫描仪, 8通道Torsopa相控阵线圈, 常规行轴位、冠状位T1WI和T2WI扫描; 扩散张量成像采用平面回波序列, 脂肪抑制以消除化学位移伪影, 平行双侧肾脏长轴行斜冠状位扫描, 连续扫描确保扫描范围包括全肾, 在扫描容积头侧、足侧以及前侧施加平行预饱和带, 单次屏气完成扫描。扫描参数为: TR 2 400~2 600 ms, TE 40 ms, 视野24 cm×24 cm, 矩阵256×256, 层数10~14, 激励次数2, 层厚5 mm, 间隔0 mm。扩散敏感梯度方向=6, 扫描时间20~23 s。b值600 s/mm<sup>2</sup>。根据斜冠状位b=0图像和扩散张量图在肾门层面对双侧肾脏皮质、髓质或病灶内(避让血管和灶内坏死灶)选择兴趣区, 每个兴趣区约30~40 mm<sup>2</sup>。

**数据处理:** 扫描完成后数据传至ADW4.3工作站进行数据处理。扩散张量成像数据分析采用Funtool软件包进行图形校正和数据处理。分别计算出每个兴趣区的表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)、分数各向异性(fractional anisotropy, FA)。利用Fiber Tracking软件以肾髓质为研究区, 重建出肾髓质扩散张量示踪图, 分析肾髓质纤维束的位置、形态。

**主要观察指标:** 正常肾脏、肾癌、肾囊肿ADC、FA值的对比; 积水肾皮质、髓质ADC、FA值的测定结果。

**设计、实施、评估者:** 设计为第一作者, 实施为第二、三作者, 评估为第四、五作者。均经过系统培训, 未使用盲法评估。

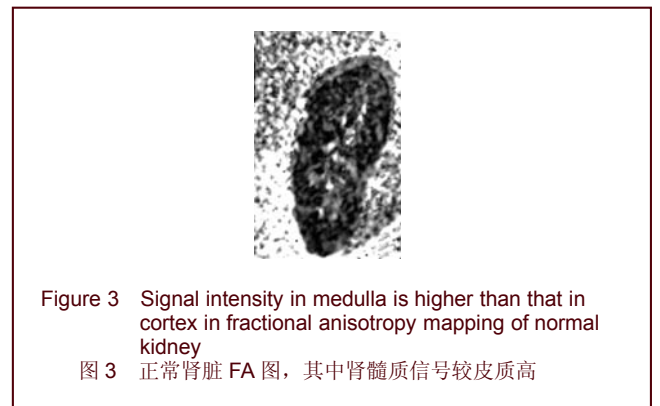
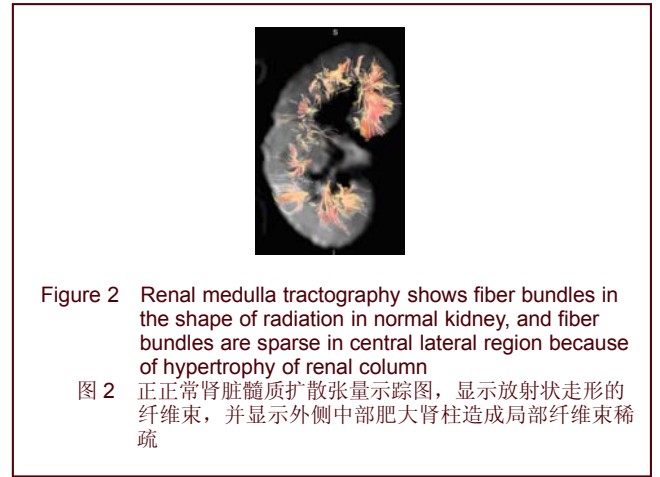
**统计学分析:** 由第一作者采用SPSS 10.0软件进行数据处理。肾癌、肾囊肿与对照组间ADC、FA值比较采用单因素方差分析; 积水肾与对侧肾脏ADC、FA值比较采用独立样本t 检验,  $P < 0.05$ 认为差异具有显著性意义。

**2 结果**

2.1 正常肾脏、肾癌、肾囊肿ADC、FA值的对比 见表1。

Group	n	ADC (×10 <sup>-3</sup> mm <sup>2</sup> /s)	FA
Normal renal cortex	12	2.39±0.19	0.26±0.06
Normal renal medulla	12	2.14±0.20	0.37±0.06
Kidney carcinoma	7	1.48±0.17	0.24±0.05
Kidney cyst	7	2.81±0.20	0.13±0.02
F		63.0	22.7
P		0.000	0.000

表1可见, 正常肾脏中, 肾皮质的ADC值显著高于肾髓质( $P=0.003$ ), 而肾髓质的FA值显著高于肾皮质( $P < 0.05$ )。髓质扩散张量示踪图显示肾髓质内轮辐样由指向皮质的放射束, 部分皮质可见祥样放射束结构, 见图1~3。



肾癌ADC值低于正常肾皮质、髓质( $P < 0.05$ ), 瘤体内FA值显著低于正常肾髓质( $P < 0.05$ ); 与正常肾皮质相比FA值略有下降但差异无显著性意义( $P > 0.05$ )。肾癌扩散张量示踪图可见瘤区放射束中断, 部分放射束包绕瘤区或受推压, 瘤区内见散乱的纤维束, 见图4。

肾囊肿ADC值显著高于正常肾皮质、髓质( $P < 0.05$ ), FA值显著低于肾皮质和髓质( $P < 0.05$ )。扩

散张量示踪图肾囊肿均可见周围纤维束受囊肿推压, 纤维束包绕囊肿, 囊肿内未见纤维束存在, 见图5。

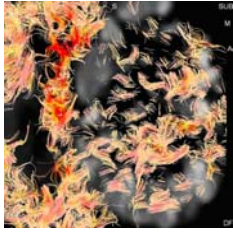


Figure 4 Renal medulla tractography of clear cell carcinoma of kidney shows cut-off and damage of fiber bundles around the tumor

图4 肾透明细胞癌髓质扩散张量示踪图, 显示瘤周髓质纤维束截断、破坏, 瘤内为散在不规则的纤维束

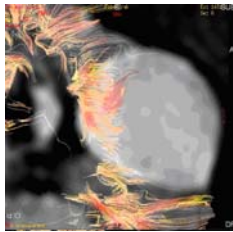


Figure 5 Renal medulla tractography of kidney cyst shows extension and surrounding of fiber bundles around the tumor

图5 肾囊肿髓质扩散张量示踪图, 显示囊肿周围纤维束延伸包绕, 囊肿内未见纤维束

## 2.2 积水肾皮质、髓质ADC、FA值的测定 见表2。

表2 积水肾与对侧肾脏 ADC、FA 值测定结果比较  
Table 2 Comparison of apparent diffusion coefficient (ADC) and fractional anisotropy (FA) values in Hydronephrosis and control group ( $\bar{x} \pm s, n=8$ )

Group	Cortical		Medullary	
	ADC ( $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ )	FA	ADC ( $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ )	FA
Dropsy kidney	2.04±0.22	0.19±0.04	1.58±0.16	0.33±0.03
Contralateral kidney	2.32±0.24	0.28±0.03	2.04±0.24	0.39±0.04
<i>t</i>	2.63	5.61	5.00	3.96
<i>P</i>	0.017	0.000	0.000	0.001

表2可见, 10例肾积水均为单侧发病, 2例输尿管肾盂连接处狭窄患者肾实质菲薄且无法区分皮、髓质, 因而未纳入本文研究范围。其余病例在  $b=0$  和 FA 图中肾脏皮髓质清晰, 并可见肾皮质、髓质明显变薄。与对侧肾相比, 皮质、髓质 ADC 值明显下降且差异具有显著性意义 ( $P < 0.05$ ), FA 值也显著下降, 见图6。

积水肾髓质内仍可见轮辐样走形的放射束, 但与正常肾脏相比放射束数目较少、稀疏, 放射束短缩, 见图7。

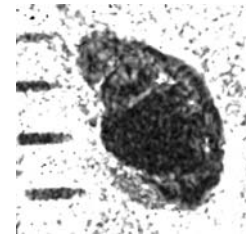


Figure 6 In fractional anisotropy mapping of hydronephrosis: the thin medulla is relatively hyperintense and cortex is hypointense

图6 肾积水 FA 图, 显示菲薄的髓质为略高信号, 皮质为低信号

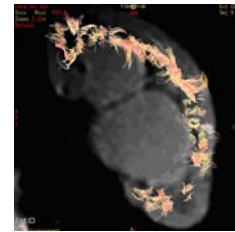


Figure 7 Renal medulla tractography of hydronephrosis shows sparse, shortened fiber bundles

图7 肾积水髓质扩散张量示踪图, 显示稀疏、短缩的髓质纤维束

## 3 讨论

肾脏中水分子由肾盂至皮质方向具有更强的扩散运动<sup>[12-13]</sup>, 此现象与近曲小管远曲小管、集合管的放射性走行方向有关<sup>[14-16]</sup>; 而肾小球滤过、肾小管重吸收、排泄以及肾小管内尿液流动均会对水分子的扩散产生影响。本文结果发现肾脏皮、髓质具有不同的水分子扩散特征, 扩散张量成像可定量测定肾脏以及肾脏常见病变中水分子运动的差异, 并提供有关组织细微结构变化的信息。

本文结果很好地反映出了肾髓质、皮质超微结构的差异, 由于肾髓质富含肾小管、集合管等微结构屏障, 使水分子沿肾小管长轴的扩散更为迅速, 而垂直于肾小管方向的水分子扩散较慢<sup>[17-19]</sup>, 因而肾髓质 ADC 值低于肾皮质, 肾髓质的各向异性参数 FA 值明显高于肾皮质<sup>[20]</sup>。利用扩散加权成像扩散敏感梯度方向的变化进行肾脏各向异性的研究发现肾脏头尾方向和左右方向上的 ADC 明显高于前后方向<sup>[21-22]</sup>, 这实际上是肾小管、集合管等微结构屏障规律排列的体现。本文中髓质扩散张量示踪图也显示肾髓质内轮辐样由指向皮质的放射束, 部分区域可见祥样放射束结构。

本文结果发现肾细胞癌 ADC 低于对照组皮质且差异具有显著性意义, FA 值较低但差异无显著性意义。这表明肾细胞癌内密集排列的肿瘤细胞限制了细胞间质水分子的扩散从而表现出 ADC 的下降; 而瘤内缺乏特定



走行方向的细胞超微结构导致了瘤内出非均匀的水分子扩散特征<sup>[23]</sup>。Notohamiprodjo等<sup>[24]</sup>发现5例非囊性肾癌中的ADC、FA值与肾实质差异无显著性意义,可能与其采用了较低的b值有关( $b=300\text{ s/mm}^2$ )。扩散张量示踪图显示肾癌瘤内为散乱无规则的纤维束,而临近瘤体的肾脏纤维束中断,纤维束包绕瘤体走行不明显。

单纯性囊肿内为均一囊液而缺乏肾小管、微血管等超微结构,因而水分子扩散运动强度较高且均匀,其FA值显著低于肾实质,而扩散张量示踪图显示囊肿周围纤维束受压移位,而囊肿内未见明显纤维束显示。

尿路梗阻引发的肾积水、肾萎缩是泌尿外科常见的疾病。虽然磁共振尿路造影等检查技术能够清楚显示肾盂肾盏的扩张程度以及梗阻端的形态,但对肾积水后肾皮质和髓质的轻微受累情况和超微结构变化敏感性较低。本文结果发现积水肾髓质、皮质ADC值下降、FA值均明显下降。作者认为肾积水时肾实质受压萎缩,肾脏微血管、肾小球萎缩导致肾小球滤过、肾小管重吸收过程减弱、肾小管内水分子流动减慢而导致水分子扩散减弱;另一方面,肾小管上皮细胞变薄,肾小管萎缩导致肾内细胞间隙增大,水分子扩散运动各向异性降低。肾髓质扩散张量示踪图也显示萎缩的髓质内纤维束稀疏,数目减少,部分祥样结构消失。

本文结果表明肾皮质、髓质的结构差异使其具有不同的ADC、FA值;扩散张量成像能够准确显示常见肾脏病变扩散能力、扩散方向变化;扩散张量纤维束示踪术可重建出肾髓质纤维束的形态,从而反映出肾小管和集合管的结构变化。作为常规MR成像的补充,肾脏扩散张量成像可定量分析常见肾脏病变的超微结构变化,为肾脏疾病的早期诊断和随访提供准确的依据。

#### 4 参考文献

[1] Müller MF, Prasad PV, Bimmler D, et al. Functional imaging of the kidney by means of measurement of the apparent diffusion coefficient. *Radiology*. 1994; 193(3):711-715.

[2] Namimoto T, Yamashita Y, Mitsuzaki K, et al. Measurement of the apparent diffusion coefficient in diffuse renal disease by diffusion-weighted echo-planar MR imaging. *J Magn Reson Imaging*. 1999; 9(6):832-837.

[3] Agarwal N, Port JD, Bazzocchi M, et al. Update on the use of MR for assessment and diagnosis of psychiatric diseases. *Radiology*. 2010;255(1):23-41.

[4] Yamada K, Sakai K, Akazawa K, et al. MR tractography: a review of its clinical applications. *Magn Reson Med Sci*. 2009;8(4):165-174.

[5] Mori S, Oishi K, Faria AV. White matter atlases based on diffusion tensor imaging. *Curr Opin Neurol*. 2009;22(4):362-369.

[6] Hsieh TJ, Chang JM, Chuang HY, et al. End-stage renal disease: in vivo diffusion-tensor imaging of silent white matter damage. *Radiology*. 2009;252(2):518-525.

[7] Cheung JS, Fan SJ, Chow AM, et al. Diffusion tensor imaging of renal ischemia reperfusion injury in an experimental model. *NMR Biomed*. 2010;23(5):496-502.

[8] Kataoka M, Kido A, Yamamoto A, et al. Diffusion tensor imaging of kidneys with respiratory triggering: optimization of parameters to demonstrate anisotropic structures on fraction anisotropy maps. *J Magn Reson Imaging*. 2009;29(3):736-744.

[9] Notohamiprodjo M, Glaser C, Herrmann KA, et al. Diffusion tensor imaging of the kidney with parallel imaging: initial clinical experience. *Invest Radiol*. 2008;43(10):677-685.

[10] Fukuda Y, Ohashi I, Hanafusa K, et al. Anisotropic diffusion in kidney: apparent diffusion coefficient measurements for clinical use. *J Magn Reson Imaging*. 2000;11(2):156-160.

[11] Notohamiprodjo M, Dietrich O, Horger W, et al. Diffusion tensor imaging (DTI) of the kidney at 3 tesla-feasibility, protocol evaluation and comparison to 1.5 Tesla. *Invest Radiol*. 2010; 45(5):245-254.

[12] Wittsack HJ, Lanzman RS, Mathys C, et al. Statistical evaluation of diffusion-weighted imaging of the human kidney. *Magn Reson Med*. 2010;64(2):616-622.

[13] Paudyal B, Paudyal P, Tsushima Y, et al. The role of the ADC value in the characterisation of renal carcinoma by diffusion-weighted MRI. *Br J Radiol*. 2010;83(988):336-343.

[14] Kim S, Naik M, Sigmund E, et al. Diffusion-weighted MR imaging of the kidneys and the urinary tract. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2008;16(4):585-596.

[15] Rong R, Zhang CY, Wang XY. Normal appearance of large field diffusion weighted imaging on 3.0T MRI. *Chin Med Sci J*. 2008; 23(3):158-161.

[16] Kiliçkesmez O, Yirik G, Bayramoğlu S, et al. Non-breath-hold high b-value diffusion-weighted MRI with parallel imaging technique: apparent diffusion coefficient determination in normal abdominal organs. *Diagn Interv Radiol*. 2008;14(2):83-87.

[17] Roy C, Matau A, Biery G, et al. Diffusion-weighted MR imaging of the kidney. *J Radiol*. 2010;91(3 Pt 2):408-418.

[18] Togao O, Doi S, Kuro-o M, et al. Assessment of renal fibrosis with diffusion-weighted MR imaging: study with murine model of unilateral ureteral obstruction. *Radiology*. 2010;255(3):772-780.

[19] Sandrasegaran K, Sundaram CP, Ramaswamy R, et al. Usefulness of diffusion-weighted imaging in the evaluation of renal masses. *AJR Am J Roentgenol*. 2010;194(2):438-445.

[20] Zhang JL, Sigmund EE, Chandarana H, et al. Variability of renal apparent diffusion coefficients: limitations of the monoexponential model for diffusion quantification. *Radiology*. 2010;254(3):783-792.

[21] Siegel CL, Aisen AM, Ellis JH, et al. Feasibility of MR diffusion studies in the kidney. *J Magn Reson Imaging*. 1995;5(5): 617-620.

[22] Blondin D, Lanzman RS, Mathys C, et al. Functional MRI of transplanted kidneys using diffusion-weighted imaging. *Rofo*. 2009; 181(12):1162-1167.

[23] Taouli B, Thakur RK, Mannelli L, et al. Renal lesions: characterization with diffusion-weighted imaging versus contrast-enhanced MR imaging. *Radiology*. 2009;251(2):398-407.

[24] Notohamiprodjo M, Glaser C, Herrmann KA, et al. Diffusion tensor imaging of the kidney with parallel imaging: initial clinical experience. *Invest Radiol*. 2008;43(10):677-685.

#### 来自本文课题的更多信息——

**基金资助:** 课题由扬州大学临床学院基金资助 (yzucms0926), 课题名称: 磁共振扩散张量成像早期诊断糖尿病肾病的实验研究。

**利益冲突:** 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

**课题的意义:** 课题探讨磁共振扩散张量成像对肾脏和肾脏病变的诊断价值, 为肾脏病变的早期诊断提供了新的无创、高敏感的检测手段; 着重探讨正常和不同肾脏病变皮质和髓质在扩散张量成像中的变化, 为肾脏病变的发生、发展提供了证据。

**课题评估的“金标准”:** ADC值和FA值是扩散加权成像和扩散张量成像的重要参数, 其标准测定方法为在工作站软件中直接测定。对扩散张量纤维束的评价主要依靠形态学的观察。

**课题的偏倚或不足:** 在进一步的研究中可探讨扩散张量成像参数与肾功能的相关性以及早期糖尿病肾病、肾小球肾炎等弥漫性病变的诊断价值。

**提供临床借鉴的价值:** 扩散张量成像能够准确显示常见肾脏病变扩散能力、扩散方向变化; 扩散张量纤维束示踪术可重建出肾髓质纤维束的形态, 从而反映出肾小管和集合管的结构变化。肾脏扩散张量成像可定量分析常见肾脏病变的超微结构变化, 为肾脏疾病的早期诊断和随访提供准确的依据。