

体素不相干运动 MR 成像预测肾积水肾功能可复性的研究

蒙秋华, 陈娇香, 邹乔, 叶永胜, 李新春, 张文浩, 伍筱梅

【摘要】 目的:探讨体素不相干运动(IVIM)MR 成像预测肾积水肾功能可复性的价值。**方法:**选取成年雄性新西兰大白兔 30 只,分为 A、B、C、D、E 五组(每组 6 只),前四组制作左侧输尿管不同程度梗阻的肾积水模型,E 组为对照组,将 A、B、C、D 四组动物分别于造模成功后 4、8、12、16 周行 MRI 平扫及 IVIM 检查,对照组于造模成功后 4、8、12、16 周也行 MRI 平扫及 IVIM 检查,动态分析 IVIM 定量参数(ADC 值、D 值、D* 值、f 值)的变化特点及与病理、肾小球滤过率(GFR)的相关性,分析 ADC 值、D 值、D* 值、f 值对解除梗阻后肾功能恢复的预测效能。**结果:**白兔左侧积水肾皮髓质 D 值、D* 值、f 值、ADC 值于成模后 4、8、12、16 周随着肾功能受损程度加重,数值逐渐降低,D 值、f 值及 ADC 值组间两两比较:成模后 12 周、16 周与对照组、4 周,成模后 8 周与 16 周组间差异有统计学意义($P < 0.05$);D* 值组间两两比较:成模后 8 周、12 周、16 周与对照组、4 周,成模后 12 周、16 周与 8 周组间差异有统计学意义($P < 0.05$);左侧积水肾成模后不同时间点 D 值、D* 值、f 值、ADC 值与病理改变密切相关,与 GFR 呈中度正相关。解除梗阻后,8 周前的积水肾功能不同程度恢复,肾皮髓质 ADC 值、D 值、D* 值、f 值对肾功能恢复与未恢复的鉴别诊断有一定价值,最佳诊断阈值分别为 $(2.59 \pm 0.64) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $(1.67 \pm 0.69) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $(16.95 \pm 8.32) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 (0.44 ± 0.18) 。**结论:**IVIM 成像能有效、动态监测积水肾功能的变化,对解除梗阻后肾功能恢复的预测有一定价值。

【关键词】 磁共振成像; 体素不相干运动; 肾积水; 肾功能; 肾小球滤过率

【中图分类号】 R692.2; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2017)05-0509-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.05.017

The prediction of renal function recovery in hydronephrosis by using intravoxel incoherent motion MR imaging MENG Qiu-hua, CHEN Jiao-xiang, ZOU-Qiao, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital, Guangzhou Medical College, Guangzhou 510120, China

【Abstract】 Objective: To investigate the value of intravoxel incoherent motion MR imaging in predicting renal function recovery in hydronephrosis. **Methods:** Left side hydronephrosis model of healthy New-Zealand rabbits made by ureteral incomplete obstruction were scanned by intravoxel incoherent motion MR imaging at 4, 8, 12, 16 weeks, and the changes of MRI IVIM quantitative parameters (ADC values, D values, D* values, f values) in left hydronephrosis kidney were observed and the parameters were correlated with GFR and pathology. The effect of ADC value, D value, D* value and f value in predicting renal function recovery in hydronephrosis after obstruction relief was explored. **Results:** ADC values, D, D* values, f values at cortex and medulla in left hydronephrosis model of rabbits reduced gradually with renal damage aggravating after 4, 8, 12, 16 weeks. There was statistical significant difference between group 12 weeks, 16 weeks and control group, group 4 weeks; between group 8 weeks and group 16 weeks for D value, f value and ADC values by LSD contrast. There was also statistical significant difference between group 8 weeks, 12 weeks, 16 weeks and control group, group 4 weeks; between group 8 weeks and group 16 weeks for D* value by LSD contrast. ADC values, D, D* values, f values were moderate positive correlated to GFR and related to pathological changes at 4, 8, 12, 16 weeks for left hydronephrosis model of rabbits. Renal function in hydronephrosis had recovery in different degree after obstruction relief for rabbit before 8 weeks. ADC value, D value, D* value and f value in renal cortex and medulla were of definite value to monitoring renal function recovery, and the best threshold was $(2.59 \pm 0.64) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, $(1.67 \pm 0.69) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, $(16.95 \pm 8.32) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, (0.44 ± 0.18) respectively. **Conclusion:** Intravoxel incoherent motion MR imaging could monitor dynamic impairment of renal function in hydronephrosis and predict the recovery of renal function after removing obstruction.

【Key words】 Magnetic resonance imaging; Intravoxel incoherent motion; Hydronephrosis; Renal function; Glomerular filtration rate

作者单位: 510120 广州, 广州医科大学附属第一医院放射科(蒙秋华、邹乔、叶永胜、李新春、张文浩、伍筱梅); 510080 广州, 中山大学第一附属医院胸外科(陈娇香)

作者简介: 蒙秋华(1973—), 男, 广西贵港人, 博士, 主任医师, 主要从事胸腹部 CT、磁共振成像及诊断工作。

通讯作者: 伍筱梅, E-mail: wuxiaomei61@aliyun.com

基金项目: 广东省医学科研基金项目(A2015403), 广东省科技计划项目(2014A020212353), 广州市属高校科研项目(1201420047)

准确评估积水肾的功能和预测梗阻解除后肾功能是否恢复, 是决定保留或切除积水肾的前提, 目前临床上评价肾功能的指标虽然很多, 但都存在一定缺陷。磁共振扩散功能成像的多 b 值成像即体素内不相干运

动(IntravoxelIncoherent Motion,IVIM) 成像能从分子水平提供组织微观结构信息,在不使用外源性对比剂的情况下可反映真性扩散及微循环灌注信息并能定量测量。国内外学者研究发现 IVIM 对疾病的分期及肾功能评价有一定价值^[1-2],在评价肾功能可复性方面具有较好的应用前景。本研究利用 IVIM 动态监测白兔肾积水肾功能变化,旨在评价 IVIM 的应用价值。

材料与方法

1. 动物分组及模型制作

选取成年雄性新西兰大白兔 30 只(8 周龄,体重 2~3 kg),随机分为 A、B、C、D、E 五组(每组 6 只)。其中前四组参照国外 Cheng 等^[3] 的报道,切开兔腹壁、钝性分离肾盂输尿管交界部并利用一种可量化内径的塑料管(6 号普通导尿管)包裹输尿管形成梗阻的方法制作左侧输尿管不同程度梗阻的肾积水模型(实验组,根据肾功能恢复情况又分为两个亚组,即肾功能恢复组和肾功能未恢复组),E 组用同样方法切口腹壁、钝性分离肾盂输尿管交界部、缝合,但输尿管没有套入塑料管作为假手术组(对照组)。

2. 检查方法

将 A、B、C、D 四组动物分别于造模成功后 4、8、12、16 周行 MRI 平扫、IVIM 及 SPECT 检查,检查结束后每组任取 1 只处死,获取积水肾脏及正常肾脏标本行病理检查。而剩余的动物于检查结束后行解除梗阻手术,于解除梗阻后 3 个月再行 MRI 平扫、IVIM 及 SPECT 检查,并根据 SPECT 的肾小球滤过率(glomerular filtration rate,GFR)恢复情况细分为肾功能恢复组(术后 GFR>术前 GFR)和肾功能未恢复组(术后 GFR≤术前 GFR)两个亚组;对照组于造模成功后 4、8、12、16 周也行 MRI 平扫、IVIM 及 SPECT 检查。

SPECT 检查:动物麻醉后,俯卧位于 SPECT 扫描床,经耳缘静脉注入^{99m}Tc-DTPA(弹丸式给药),行双侧肾脏动态灌注及肾图显像,强度为 0.7~0.8 mCi/只,连续动态采集 28 min,测量动物的身高(按从颅顶到尾骨计算)、体重,勾画双肾感兴趣区,并计算双肾 GFR(图 1)。

MRI 检查:麻醉成功后将兔仰卧位放置于自制的兔固定装置,两下肢拉直分开置于兔动物线圈上(上海晨光公司生产)。利用 3.0 T 磁共振机行 MRI 检查,扫描序列包括 T₁WI、T₂WI、质子频谱预饱和和反转恢复成像(T₂WI/SPIR)及 IVIM。扫描参数:T₁WI,TR 500 ms,TE 16 ms;T₂WI,TR 1600 ms,TE 120 ms;T₂WI/SPIR,TR 2689 ms,TE 100 ms;STIR,TR 2500 ms,TE 60 ms,TI 120 ms。IVIM 检查采用单次激

发平面回波(SS-EPI)序列,并行空间采集成像技术(array spatial sensitivity encoding technique,ASSET),行轴面(必要时加冠状面)扫描,b 值取 0、10、30、50、80、100、200、400、600、800、1000 s/mm²,同时在 X、Y、Z 轴三个方向上施加敏感梯度脉冲,TR 4000 ms,TE 39.3~68.1 ms,激励次数 5,矩阵 96×128,视野 15 cm×15 cm,层厚 3.0 mm,层间隔 0.1 mm,加速因子 2,在双肾范围施加匀场,视野 24 cm×24 cm,扫描范围覆盖双肾。

3. 图像分析、数据测量

DWI 信号强度与表观扩散系数(apparent diffusion coefficient,ADC)值测量:DWI 图像扫描完成后传送到 ADW4.3 工作站,采用 Functool4.5.5 软件包进行图像后处理,选择 ADC 程序,调节域值范围,以包含整个肾脏(除外肾窦及肾脏周围结构)为标准,选择相应的 b 值,由工作站自动生成 ADC 图,分别测量肾脏皮髓质的 ADC 值。将 11 个 b 值的 DWI 图像传到飞利浦公司提供的 IVIM 处理软件,分别重建出 D、D*、f 所对应的图像(图 2),参照常規 T₂WI 图像,在肾上、下极及肾门区皮髓质同一位置分别选取感兴趣区(region of interest,ROI),大小 5~15 mm²,共测 3 次,取平均值,并测量出相应的 D 值、D* 值、f 值(其中 D 值为纯扩散系数,代表真实水分子扩散;微循环非相关灌注 D* 值为假性扩散系数,为与微循环灌注相关的扩散系数;f 值为灌注分数,代表微循环灌注如血液及小管液流动在信号衰减中所占的比重)。

肾实质厚度测量:测量肾门、上下极垂直于肾门的肾实质厚度,各测 3 次,取平均值,以便观察不同时间点、不同个体积水肾模型的积水程度差异。

病理学检查:上述检查完毕后,每组任取 1 只处死,分别取材实验侧及对照侧对应 ROI 区域的肾实质。所有标本均行 HE 及 Masson 染色,光镜下观察,并应用透射电镜观察梗阻前后肾脏的超微结构改变。对病理损害情况进行评级,肾脏小管间质损伤程度由两位病理科医生进行评分,两人评分不同者经共同商议决定,采用 Katafuchi 半定量评分系统^[4],总分 9 分,包括间质炎性细胞浸润 0~3 分,间质纤维化 0~3 分,肾小管萎缩 0~3 分,根据病变范围所占百分比具体评分为:0 为 0 分,<25% 为 1 分,25%~50% 为 2 分,>50% 为 3 分,肾脏小管间质损伤程度为其三者相加,分为无损害(0 分)、轻度(1~3 分)、中度(4~6 分)、重度(7~9 分)四级病变。

4. 统计学分析

采用 SPSS 16.0 软件进行统计学分析,计量数据用均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,首先对整体数据进行正态分布检验,符合正态分布者采用配对 t 检验,比较两

组肾之间的 ADC 值、D 值、D* 值、f 值及肾实质厚度；对整体数据进行方差齐性检验，符合正态分布且方差齐性者，采用单因素方差分析(one-way ANOVA) 比较不同时间点的皮质 ADC 值、D 值、D* 值、f 值是否有差异，各组间两两比较采用最小显著差值法(least-significant difference, LSD)；采用双变量 Pearson 相关检验分析 ADC 值、D 值、D* 值、f 值与核素 GFR 及病理分级之间的关系，应用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC) 曲线分析皮质髓质 ADC 值、D 值、D* 值、f 值对肾功能恢复组与功能未恢复组的鉴别诊断效能，并确定最佳诊断阈值。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 左侧积水肾成模后、解除梗阻前不同时间点肾实质厚度、IVIM 和 GFR 比较

与对照组相比，左侧积水肾于成模后 4、8、12、16 周肾实质厚度和 GFR 值逐渐降低(表 1)，提示随着肾积水时间延长，肾积水程度加重，肾功能逐渐减退；相应的皮质髓质 D 值、D* 值、f 值、ADC 值随着肾功能受损程度加重，数值也逐步降低，在验证方差齐性的前提下采用 ANOVA 检验，显示 D 值、D* 值、f 值、ADC 值和 GFR 的各组间差异有统计学意义($P < 0.05$)，D 值、f 值及 ADC 值组间两两比较结果：成模后 12 周、16 周与对照组、成模后 4 周，成模后 8 周与 16 周组间差异有统计学意义($P < 0.05$)；D* 值组间两两比较结果：成模后 8 周、12 周、16 周与对照组、成模后 4 周，成模后 12 周、16 周与 8 周间差异有统计学意义($P < 0.05$)；GFR 值组间两两比较，任何两组间差异均有统计学意义($P < 0.05$)。

2. 左侧积水肾不同时间点解除梗阻后各参数值比较

4 周模型解除梗阻后，左积水肾功能 GFR 均有恢复，平均由 23.5 上升到 34.0，肾功能基本恢复正常，肾皮质髓质 D 值、D* 值、f 值、ADC 值也分别增加约 10%；8 周模型解除梗阻后，大部分积水肾 GFR 有轻度恢复，肾皮质髓质 D 值、D* 值、f 值、ADC 值相应增加；12 及 16 周模型解除梗阻后，积水肾 GFR 没有恢复甚至继续下降，所对应的左肾皮质髓质 D 值、D* 值、f 值、ADC 值变化不大或轻度降低(表 2)。

应用 ROC 曲线分析左积水肾皮质髓质 ADC 值、D 值、D* 值、f 值对肾功能恢复与未恢复的鉴别诊断效能进行评价，通过 ROC 曲线下面积(A 值) 来确定所选择诊断标准的价值(表 3)。从表 3 可以看出，D 值、f 值的曲线下面积分别为 0.874 和 0.899，D* 值、ADC 值的曲线下面积分别为 0.939 和 0.904，鉴别诊断准确度较高。根据 ROC 曲线，结合各切点的敏感度和特异度，选择曲线上尽量靠近左上方 Youden 指数最大的切点为最佳阈值，得出 ADC 值、D 值、D* 值和 f 值的最佳诊断阈值分别为 $(2.59 \pm 0.64) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ ， $(1.67 \pm 0.69) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ ， $(16.95 \pm 8.32) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ ， (0.44 ± 0.18) 。

表 3 左积水肾皮质髓质各值曲线下面积及 95% 可信区间

检验结果变量	面积	95% 置信区间	
		下限	上限
ADC 值	0.904	0.773	1.000
D 值	0.874	0.720	1.000
D* 值	0.939	0.831	1.000
f 值	0.899	0.753	1.000

3. 左侧积水肾成模后不同时间点 IVIM 参数与 GFR、肾实质厚度的相关性

左侧积水肾成模后不同时间点 D 值、D* 值、f 值、ADC 值与 GFR、肾实质厚度均呈正相关(P 值均 < 0.05)，其中成模后 4 周、8 周、12 周及 16 周的 D 值与 GFR 的相关系数 r 为 0.624 ~ 0.726；D* 值与 GFR 的

表 1 积水肾成模后、解除梗阻前不同时间点肾实质厚度、IVIM 各参数和 GFR 值比较

分组	对照组	A 组	B 组	C 组	D 组	F 值	P 值
ADC 值($10^{-3} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	2.79 ± 0.87	2.75 ± 0.76	2.62 ± 0.64	2.45 ± 0.57	2.35 ± 0.49	4.198	0.006
D 值($10^{-3} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	2.04 ± 0.74	1.86 ± 0.86	1.74 ± 0.69	1.62 ± 0.88	1.27 ± 0.71	4.198	0.006
D* 值($10^{-3} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	27.12 ± 7.86	24.83 ± 8.54	19.37 ± 8.32	12.92 ± 7.12	8.11 ± 6.03	17.567	0.000
f 值(%)	0.79 ± 0.19	0.62 ± 0.17	0.56 ± 0.18	0.49 ± 0.18	0.38 ± 0.15	23.259	0.000
GFR(mL/min)	34.12 ± 6.80	23.50 ± 6.54	19.68 ± 5.89	10.26 ± 5.32	6.80 ± 5.03	113.972	0.000
肾实质厚度(mm)	7.12 ± 0.80	6.40 ± 0.63	5.61 ± 0.59	4.35 ± 0.53	2.03 ± 0.49	3.567	0.020

表 2 积水肾不同时间点解除梗阻后 IVIM 各参数和 GFR 比较

分组	A 组	B 组	C 组	D 组
ADC 值($10^{-3} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	2.62 ± 0.65	2.86 ± 0.78	2.30 ± 0.62	1.93 ± 0.40
D 值($10^{-3} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	2.29 ± 0.89	1.83 ± 0.60	1.61 ± 0.40	1.09 ± 0.38
D* 值($10^{-3} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	23.13 ± 6.23	20.75 ± 9.45	12.08 ± 5.18	7.10 ± 4.30
f 值(%)	0.79 ± 0.24	0.55 ± 0.10	0.44 ± 0.25	0.32 ± 0.32
GFR(mL/min)	34.00 ± 10.02	19.88 ± 7.22	8.01 ± 4.89	5.80 ± 5.67

相关系数 r 为 $0.682 \sim 0.747$; f 值与 GFR 的相关系数 r 为 $0.768 \sim 0.899$; ADC 值与 GFR 的相关系数 r 为 $0.661 \sim 0.728$ 。成模后 4 周、8 周、12 周及 16 周 D 值与肾实质厚度的相关系数 r 为 $0.635 \sim 0.771$; D^* 值与肾实质厚度的相关系数 r 为 $0.634 \sim 0.700$; f 值与肾实质厚度的相关系数 r 为 $0.746 \sim 0.822$; ADC 值与肾实质厚度的相关系数 r 为 $0.682 \sim 0.761$ 。以上数据表明 D 值、 D^* 值、 f 值、ADC 值与核素 GFR、肾实质厚度之间的相关系数均在 $0.5 \sim 0.8$ 之间, 相关程度为中度相关。

在病理上, 成模后 4 周时左肾为轻度损伤, 肾小管萎缩评分为 1 分, 间质纤维化及间质细胞浸润评分也都为 1 分, 成模后 8 周时病肾出现中度损伤, 而成模后 12、16 周表现为重度损伤, 肾小管萎缩、间质纤维化及间质细胞浸润评分均为 3 分, 共 9 分(表 4), 表明了随着左肾积水时间延长, 肾功能损伤逐渐加重。

表 4 积水肾成模后不同时间点病理镜下改变及分级评分 (分)

分组	损伤分级	间质细胞浸润	间质纤维化	肾小管萎缩
对照组	无损伤	0	0	0
A 组	轻度	1	1	1
B 组	中度	1	2	1
C 组	重度	2	3	3
D 组	重度	3	3	3

讨 论

尿路结石引起的肾积水是临床常见疾病, 目前评

价肾积水肾功能受损指标较多, 主要包括尿液的相关检查、生化检测、常规影像学及功能影像学检查。24h 尿量、尿 PH 值、尿渗透压、尿 LDH 酶及 β -22MG 等指标容易受到污染、感染及血浆肾素等多种因素影响, 且和血肌酐清除率、尿素氮一样, 反映的是双肾功能信息, 不能提供单侧患肾功能的准确信息。传统排泄性尿路造影、超声及 CT 在显示积水肾的厚度、形态及肾积水程度的同时, 也能提供粗略的肾脏功能信息, 临床应用普遍。肾核素扫描能较准确地反映肾功能, 是临床判断 GFR 的金标准, 但该检查具有放射性, 无法提供详细的形态学和病因诊断信息, 难以普及应用。近几年利用 CT 灌注、MRI 灌注评价肾功能的研究也取得一定进展, 但两者均需使用具有肾毒性的对比剂, 有加重肾功能受损的风险, 限制了其临床应用^[5-8]。

MR 扩散加权成像可检测活体组织内水分子的扩散运动, 对各种病变导致的水分子扩散受限非常敏感。ADC 值越大表明水分子扩散能力越强。相关研究发现弥漫性肾病随着肾功能的降低, 水分子扩散受限越明显, 肾脏 ADC 值有呈逐渐下降的趋势^[9-10]。本研究发现, 白兔左输尿管不全梗阻引起肾积水时, 左肾皮髓质 ADC 值逐步降低, 组间两两 LSD 比较发现, 成模后 12 周、16 周与对照组、成模后 4 周, 成模后 8 周与 16 周的 ADC 值组间差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 与 Carbone 等^[10] 的结论相仿。在病理上, 随着肾积水的发展, 肾盂压力不断升高, 肾小球毛细血管损伤继发引起间质炎症, 导致水的转运功能降低, 表现为水分子扩

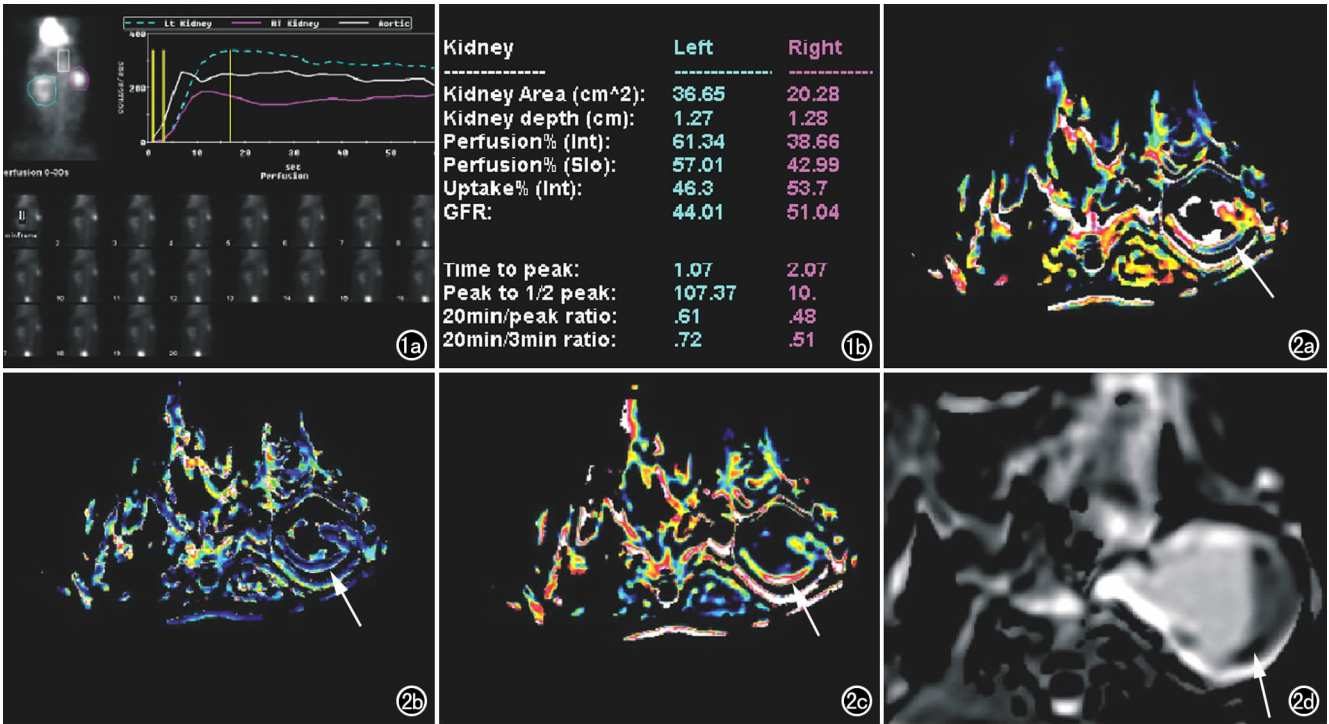


图 1 a) 白兔肾核素成像曲线图; b) 白兔肾核素成像结果示意图。图 2 a~d 分别为左侧积水肾 D 值、 D^* 值、 f 值、ADC 值伪彩图, 白箭所指为左肾皮髓质。a) D 值伪彩图; b) D^* 值伪彩图; c) f 值伪彩图; d) ADC 值伪彩图。

散受限;后期肾间质组织不断增生、纤维化,导致肾萎缩、肾血流量和含水量减少,对水分子扩散能力的限制作用也在不断增强^[11]。

ADC 值的计算是依据单指数模型,没有考虑到组织内信号除了受水分子扩散影响外,还受到毛细血管微循环血流的影响,导致计算得到的组织扩散系数较真实值偏高。IVIM-DWI 通过双指数模型计算方法弥补其不足,将组织内部水分子的扩散和微循环灌注这两种因素分离开来进行研究,计算公式为: $S_b/S_0 = (1-f) \times \exp(-bD) + f \times \exp[-b(D+D^*)]$,其中 S 代表体素内的信号强度, D 值为纯扩散系数,反映组织中水分子真性扩散,水分子扩散受到细胞结构、细胞间隙以及扩散介质影响。本研究发现,白兔左输尿管不全梗阻引起肾积水时,随着积水程度加重,左肾皮质 D 值逐步降低,一方面为肾积水继发肾间质炎症导致水分子扩散受限增强所致,另一方面为肾间质组织不断增生、纤维化,导致肾萎缩、肾血流量和含水量减少,也增强了水分子扩散受限作用,这与 ADC 值变化趋势是一致的。

D* 为假性扩散系数,代表体素内微循环灌注相关扩散运动,根据 IVIM 理论,D* 值很大程度上取决于病变组织的毛细血管密度,其与毛细血管长度和血流速度呈正比。白兔发生肾积水后,肾毛细血管损伤、血管阻力增加,间质组织增生、纤维化导致毛细血管狭窄、阻力增加,血流速度逐步减慢,肾皮质的 D* 值也表现为逐步降低,成模后 8 周、12 周、16 周与对照组、4 周,成模后 12 周、16 周与 8 周间的 D* 值差异有统计学意义($P < 0.05$),提示成模 8 周、12 周后肾微循环灌注减少更明显。

根据 IVIM 理论,f 为灌注分数,代表体素内流经毛细血管血液的容积分数,f 值随着组织微循环灌注的增加而增大,同时受器官血流量的影响。本研究发现,左侧积水肾皮质的 f 值随着积水程度加重而逐步降低,组间两两 LSD 比较发现,成模后 12 周、16 周与对照组、4 周,成模后 8 周与 16 周的 f 值组间差异有统计学意义($P < 0.05$);这与 Thoeny 等^[12]的对比研究(单侧输尿管梗阻与健康对照组)结果相吻合,这可能是由于输尿管梗阻患者肾间质组织不断增生、纤维化,组织毛细血管变窄、闭塞,微循环灌注减少,同时肾萎缩致肾血流量减少,肾小球滤过率降低共同导致的。

Xu 等^[10]研究发现弥漫性肾病的肾 ADC 值与 GFR、肾实质厚度之间存在相关性,相关程度为中度相关。本研究将 IVIM 参数与 GFR 进行相关性分析,发现 D 值、D* 值、f 值、ADC 值与 GFR 均呈正相关,其中 D 值、D* 值、ADC 值与 GFR 的相关系数 r 均在 0.5 ~ 0.8 之间,相关程度为中度相关;f 值与 GFR 的相关系

数 r 在 0.75 ~ 0.89 之间,为中重度相关,这与相关文献的研究结论大致相仿^[13-17]。

本研究对 20 只白兔解除梗阻后肾功能恢复情况进行分析,发现梗阻 4 周的白兔解除梗阻后,肾功能恢复明显,患肾 GFR 升高 20% ~ 30%,D 值、D* 值、f 值、ADC 值相应增高,究其原因,推测是由于梗阻 4 周时左肾小球毛细血管损伤、间质炎症和纤维化、肾小管萎缩均较轻,肾损伤程度较轻,所以肾功能恢复明显;而梗阻 8 周时,左肾已中度损伤,仅部分白兔左肾功能轻度恢复;梗阻 12、16 周时,左肾重度损伤,肾 GFR 无恢复甚至继续下降,D 值、D* 值、f 值、ADC 值表现为无恢复或下降。应用 ROC 曲线分析左积水肾皮质 ADC 值、D 值、D* 值、f 值对肾功能恢复与未恢复的鉴别效能,ADC 值、D 值、D* 值和 f 值的曲线下面积分别为 0.904、0.874、0.939 和 0.899,鉴别诊断准确度较高,而 4 个参数的最佳诊断阈值分别为 $(2.59 \pm 0.64) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $(1.67 \pm 0.69) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $(16.95 \pm 8.32) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 (0.44 ± 0.18) 。

本研究具有一定的局限性,由于白兔积水肾 IVIM 各参数伪彩图图像信噪比较常规 T₁WI、T₂WI 图像低,观察者对于兴趣区放置的精确度直接影响参数测量的准确性;另外,核素 GFR 测定受到检查者对于兴趣区的勾画等人为因素的影响,其计算公式为人类参数而非动物参数,对结果的准确性也有一定影响。通过本研究,笔者认为 IVIM 参数能反映、监测肾积水后患肾的功能情况,并与 GFR、病理有较好的相关性,D 值、D* 值、f 值、ADC 值的定量测量对积水肾解除梗阻后肾功能的恢复情况有一定预测价值。目前,由于肾 IVIM 成像还处于研究起步阶段,无论动物实验和临床研究均需扩大样本量,进而完善反映肾功能受损程度的量化标准,为临床应用奠定基础。

参考文献:

- [1] Pedersen M, Wen JG, Shi Y, et al. The effect of unilateral ureteral obstruction on renal function in pigs measured by diffusion-weighted MRI[J]. APMIS Suppl, 200, 109(1): 29-34.
- [2] Xu X, Fang W, Ling H. Diffusion-weighted MR imaging of kidneys in patients with chronic kidney disease: initial study[J]. Eur Radiol, 2010, 20(4): 978-983.
- [3] Cheng EY, Maizels M, Chou P, et al. Response of the newborn ureteropelvic junction complex to induced and later feversed partial ureteral obstruction in the rabbit model[J]. J Urol, 1993, 150(2): 782-789.
- [4] Katafuchi R, Kiyoshi Y, Oh Y, et al. Glomerular score as a prognosticator in IgA nephropathy: its usefulness and limitation[J]. Clin Nephrol, 1998, 49(1): 1-8.
- [5] 叶慧, 胡道予, 王秋霞, 等. 多层螺旋 CT 灌注成像对肾积水肾功能可复性的预测价值[J]. 中华放射学杂志, 2007, 41(4): 409-412.
- [6] 郝新忠, 武志峰. 多层螺旋 CT 灌注成像对单侧积水肾肾功能恢复

- 预测的动物实验研究[J]. 山西医科大学学报, 2009, 7(7): 595-601.
- [7] 桑俊勇, 郝新忠, 武志峰, 等. MSCT 灌注成像评价积水肾功能[J]. 中国医学影像技术, 2009, 25(11): 1953-1956.
- [8] 叶慧, 胡道予, 黄文华, 等. MSCT 灌注成像与 SPECT 对积水肾脏单肾功能评价的实验对比研究[J]. 实用放射学杂志, 2007, 23(7): 976-979.
- [9] Carbone SF, Gaggioli E, Rieci V, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the evaluation of renal function: a preliminary study[J]. Radiol Med, 2007, 112(8): 1201-1210.
- [10] Xu X, Fang W, Ling H. Diffusion-weighted MR imaging of kidneys in patients with chronic kidney disease: initial study[J]. Eur Radiol, 2010, 20(4): 978-983.
- [11] 朱捷, 刘荣波, 卢春燕, 等. 正常肾脏 3.0T 磁共振扩散加权成像及其影响因素[J]. 医学影像学杂志, 2012, 22(4): 606-610.
- [12] Thoeny HC, Binser T, Roth B, et al. Noninvasive assessment of acute ureteral obstruction with diffusion-weighted MR imaging: a prospective study[J]. Radiology, 2009, 252(3): 721-728.
- [13] Hennedige T, Koh TS, Hartono S, et al. Intravoxel incoherent imaging of renal fibrosis induced in a murine model of unilateral ureteral obstruction[J]. Magn Reson Imaging, 2015, 33(10): 1324-1328.
- [14] Ebrahimi B, Rihal N, Woollard JR, et al. Assessment of renal artery stenosis using intravoxel incoherent motion diffusion-weighted magnetic resonance imaging analysis[J]. Invest Radiol, 2014, 49(10): 640-646.
- [15] Ichikawa S, Motosugi U, Ichikawa T, et al. Intravoxel incoherent motion imaging of the kidney: alterations in diffusion and perfusion in patients with renal dysfunction[J]. Magn Reson Imaging, 2013, 31(3): 414-417.
- [16] Lee CH, Yoo KH, Je BK, et al. Using intravoxel incoherent motion MR imaging to evaluate cortical defects in the first episode of upper urinary tract infections: preliminary results[J]. J Magn Reson Imaging, 2014, 40(3): 545-551.
- [17] Schneider MJ, Dietrich O, Ingrisich M, et al. Intravoxel incoherent motion magnetic resonance imaging in partially nephrectomized kidneys[J]. Invest Radiol, 2016, 51(5): 323-330.

(收稿日期: 2016-06-07 修回日期: 2016-10-28)

中华医学会放射学分会第八届 全国乳腺影像学术会议征文通知

中华医学会放射学分会第八届全国乳腺影像学术会议将于 2017 年 7 月 21—23 日在辽宁省大连市棒棰岛宾馆召开。本次会议主题为乳腺影像技术及诊断规范化和乳腺影像最新进展。届时将邀请国内外著名乳腺影像学专家做专题讲座, 同时就国际、国内乳腺影像学技术的最新进展进行广泛交流。参会者将获得国家继续医学教育 I 类学分 6 分。

1. 征文内容

乳腺各种影像学检查技术规范化; 乳腺各种影像学诊断规范化; 乳腺影像技术及诊断最新进展等。乳腺癌早期影像学诊断, 乳腺癌多学科综合治疗疗效评价的新方法等。

2. 征文要求

- (1) 为未公开发表过的论文, 要求科学性强、数据可靠、重点突出、文字简练。
- (2) 请附 1000 字以内论文摘要一份, 内容包括目的、方法、结果及结论。
- (3) 投稿可登陆中华医学会放射学分会网站 www.chinaradiology.org 进行网上投稿, 亦可以 Word 形式发送 Email 至 CSBR2017@126.com 进行邮件投稿。

- (4) 截稿时间为 2017 年 6 月 30 日。

3. 联系方式

通讯地址: 110042 辽宁省沈阳市大东区小河沿路 44 号

辽宁省肿瘤医院 医学影像科 于韬、张平安

联系电话: 024—31916988, 31916627 传真: 024—24315679

Email: CSBR2017@126.com

(中华医学会放射学分会)