

• 肾移植影像学专题 •

移植肾小视野高分辨多 b 值 DWI 研究

李延军, 谢媛, 张龙江, 卢光明

【摘要】 目的:探讨小视野高分辨多 b 值磁共振扩散加权成像(rFOV DWI)在移植肾功能评估中的应用价值。**方法:**选取肾移植患者 41 例行 rFOV DWI 检查。依据估算的肾小球滤过率将患者分为 3 组(1 组:8 例, $\text{eGFR} < 30 \text{ mL/min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$; 2 组:19 例, $30 \text{ mL/min} \cdot 1.73 \text{ m}^2 \leq \text{eGFR} < 60 \text{ mL/min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$; 3 组:14 例, $\text{eGFR} \geq 60 \text{ mL/min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$)。分别测量皮髓质的表观扩散系数(ADC)值、单纯扩散系数 D 值和灌注分数 f 值,采用单因素方差分析比较组间差异,采用 Pearson 相关系数判断各参数与 eGFR 的相关性,采用 ROC 曲线判断各参数诊断移植肾功能损伤的效能。**结果:**随着移植肾功能的减低,ADC 值、f 值均呈下降趋势,其中 1 组皮质 ADC 值显著低于 2、3 组($P < 0.05$);皮质 f 值 3 组间两两比较差异均有统计学意义($P < 0.05$);1 组髓质 f 值显著低于 3 组($P < 0.05$);余各组间参数比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)。皮质 ADC 值、皮髓质 f 值均与 eGFR 呈显著正相关(r 值分别为 0.398、0.673、0.413, $P < 0.05$)。以 0.283 为截点,皮质 f 值诊断移植肾功能轻中度以上受损的敏感度、特异度分别为 93% 和 59%。**结论:**小视野多 b 值扩散加权成像可无创性评估移植肾功能。

【关键词】 扩散加权成像; 磁共振成像; 肾移植; 灌注

【中图分类号】 R692.9; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2015)05-0504-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2015.05.002

High resolution diffusion weighted imaging of renal allograft with multiple b-values LI Yan-jun, XIE Yuan, ZHANG Long-jiang, et al. Department of Medical imaging, Nanjing General Hospital of Nanjing Military Command, Nanjing 210002, P. R. China

【Abstract】 Objective: To investigate the feasibility of high resolution diffusion weighted imaging (DWI) with multi-b values using reduced field of view (rFOV) as a noninvasive way for assessing the function of renal allografts. **Methods:** Forty-one kidney transplant recipients underwent MR examination. According to the estimated glomerular filtration rate (eGFR), subjects were divided into three groups: group 1 ($n=8$) with $\text{eGFR} < 30 \text{ mL/min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$; group 2 ($n=19$) with $30 \text{ mL/min} \cdot 1.73 \text{ m}^2 \leq \text{eGFR} < 60 \text{ mL/min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$; group 3 ($n=14$) $\text{eGFR} \geq 60 \text{ mL/min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$. Apparent diffusion coefficient (ADC), pure diffusion (D) and perfusion fraction (f) were calculated separately for the cortex and the medulla and compared among the three groups using one way ANOVA. Correlations between imaging results and renal allograft function determined by eGFR were also assessed. ROC curves were used for assessing the diagnostic performance of impaired renal function. **Results:** There was a gradually decreasing trend of ADC and f in both cortex and medulla from group 3 to group 1 following the decreasing of renal allograft function. Mean value of cortical ADC was significantly lower in group 1 than those of group 2 and group 3, respectively. Cortical f showed significant differences between each of two groups; and medullary f in group 1 was significantly lower than that of group 3. Cortical ADC, f and medullary f correlated positively and significantly with eGFR ($r=0.398, 0.673, 0.413$, respectively, $P < 0.05$). The sensitivity and specificity of rFOV DWI for diagnosing the function of renal allograft with impaired renal allograft function more than mild-moderate degree were 93% and 59%, respectively, when cortical $f < 0.283$ was used as the cutoff value. **Conclusion:** rFOV DWI with multi-b values in transplanted kidneys is a promising tool for non-invasive functional monitoring.

【Key words】 Diffusion weighted imaging; Magnetic resonance imaging; Kidney transplantation; Perfusion

随着外科学技术的进步和免疫抑制剂的成功应用,肾移植成为终末期肾病患者最合理、有效的治疗方法,早期、准确地发现移植肾实质结构、功能的异常,从而指导临床及时调整治疗方案,能够避免移植肾功能的丧失,延长移植肾寿命^[1-3]。扩散加权成像(diffu-

sion weighted imaging, DWI)是目前唯一能活体无创检测水分子扩散的方法,根据体素内不相干运动(introvoxel incoherent motion, IVIM)理论, DWI 同时反映了水分子的单纯扩散运动和微循环的血流灌注^[4]。相关研究表明 DWI 具有监测移植肾功能变化的潜力^[5-7],但是传统 DWI 读出窗口较长,伪影及磁敏感效应导致图像变形、失真,所得图像分辨力低,直接影响了定量诊断的准确性^[8]。小视野扩散加权成像(reduced field of view diffusion weighted imaging, rFOV

作者单位:210002 南京,南京军区南京总医院/南京大学医学院附属金陵医院医学影像科

作者简介:李延军(1979-),男,山东菏泽人,博士,主治医师,主要从事腹部磁共振功能成像与诊断工作。

通讯作者:卢光明, E-mail: cjr_luguangming@vip.163.com

基金项目:中国博士后科学基金面上项目(2014M552702)

DWI克服了常规 DWI 图像伪影及变形的影响,使用二维空间选择性射频脉冲仅激发小范围感兴趣区,提高了图像分辨力^[9]。本研究对 41 例肾移植患者行 rFOV DWI 检查,旨在探讨其在移植肾功能评估中的应用价值。

材料与方法

1. 病例资料

搜集 2014 年 2 月—2014 年 8 月间至南京军区南京总医院就诊的首次同种异体肾移植患者 43 例,其中 1 例因幽闭恐惧症,1 例因宫内金属节育器未能完成检查,共 41 例纳入本组研究,其中男 30 例,女 11 例,平均年龄 (36.6 ± 10.1) 岁,移植术后时间从 1~59 个月不等。根据 KDIGO 慢性肾病(CKD)临床指南将患者分为 3 组:第 1 组为移植肾功能重度下降或肾衰竭患者(8 例,男 4 例,女 4 例),平均年龄 (36.8 ± 10.9) 岁, $eGFR<30\text{mL}/\text{min}\cdot1.73\text{m}^2$,相当于 CKD 分期中的 IV~V 期;第 2 组为移植肾功能轻中度至中重度下降患者(19 例,男 16 例,女 3 例),平均年龄 (37.9 ± 10.9) 岁, $30\text{mL}/\text{min}\cdot1.73\text{m}^2\leq eGFR<60\text{mL}/\text{min}\cdot1.73\text{m}^2$,相当于 CKD 分期中的 III 期;第 3 组为移植肾功能正常或轻度下降患者(14 例,男 10 例,女 4 例),平均年龄 (34.7 ± 9.0) 岁, $eGFR\geq60\text{mL}/\text{min}\cdot1.73\text{m}^2$,相当于 CKD 分期中的 I~II 期。

2. 患者准备

检查前嘱患者禁食、禁水 4 h 以上,检查前 4 h 内禁止输液,12 h 内禁用利尿剂,检查当日清晨抽血测量血肌酐(Scr)及估算肾小球滤过率(eGFR)。磁共振检查前训练患者平稳呼吸以尽量保持 MRI 扫描期间患者的呼吸频率、幅度一致。

3. 检查方法

MRI 检查采用 GE 3.0T 超导 MR 扫描仪(Discovery MR750, GE, Milwaukee, WI),32 通道腹部相控阵线圈。rFOV DWI 采用单次激发的平面回波序列(SS-EPI),10 个 b 值(10、30、50、100、150、200、400、600、800、1000 s/mm²),轴面扫描,扩散方向 3 个,使用呼吸触发技术,TR 4000 ms,TE 55 ms,视野 24 cm×

9.6 cm,层厚 6 mm,层间隔 1 mm,矩阵 240×96。

4. 图像处理与分析

所有图像传至 GE AW Volume Share 5 工作站进行后处理,由 2 名分别有 6 年和 8 年工作经验的放射科医师共同阅片,参考常规 T₁WI 图像在 rFOV DWI 图像上放置感兴趣区(region of interest, ROI),由工作站自动计算表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值、单纯扩散系数(D)、灌注分数(f)并生成相应参数图。ROI 的放置遵循以下原则:①至少选取移植肾上、中、下极 6 个层面;②皮质 ROI 使用自由画笔手动绘制,尽量覆盖整个皮质区域;③髓质 ROI 取圆形或椭圆形,每层放置 3~4 个,取平均值。

5. 统计学处理

使用 SPSS 16.0 软件进行统计学分析,计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示。三组患者的皮髓质 ADC 值、D 值、f 值经正态性检验后,使用单因素方差分析(ANOVA)比较三组间各参数有无统计学差异,如有差异进一步使用 SNK 法行两两比较;使用 Pearson 直线相关分析检验各参数与 eGFR 的相关性;使用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线判断不同参数诊断移植肾功能受损的效能;以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 移植肾 rFOV DWI 表现

41 例移植肾患者均成功获得了 rFOV DWI 图像,图像平面分辨力达到 1 mm×1 mm,移植肾结构显示清晰,未见明显伪影及变形。第 3 组患者 DWI 及 ADC 图均显示皮髓质分界清晰,髓质呈明显低信号,皮质呈明显高信号(图 1);第 2 组患者部分皮髓质分界欠清,髓质信号升高(图 2);第 1 组患者皮髓质分界不清,髓质信号明显升高,接近皮质信号(图 3)。

2. 3 组患者 rFOV DWI 各参数间比较

ANOVA 结果显示 3 组间皮质 ADC 值、灌注分数 f 值及髓质灌注分数 f 值差异存在统计学意义($P<0.05$),进一步行两两比较结果显示第 1 组皮质 ADC 值显著低于 2、3 组($P<0.05$),而 2、3 组间差异无统

表 1 3 组移植肾患者间 rFOV DWI 各参数比较

指标	1 组	2 组	3 组	F	P
皮质					
ADC($10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)	1.44±0.11	1.60±0.19	1.64±0.14	4.073	0.025
D($10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)	1.15±0.11	1.17±0.12	1.17±0.09	0.058	0.944
f	0.25±0.03	0.29±0.04	0.31±0.02	10.744	0.000
髓质					
ADC($10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)	1.30±0.19	1.41±0.15	1.44±0.14	2.032	0.145
D($10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)	1.11±0.15	1.11±0.10	1.10±0.08	0.023	0.977
f	0.24±0.06	0.27±0.05	0.30±0.05	4.176	0.023

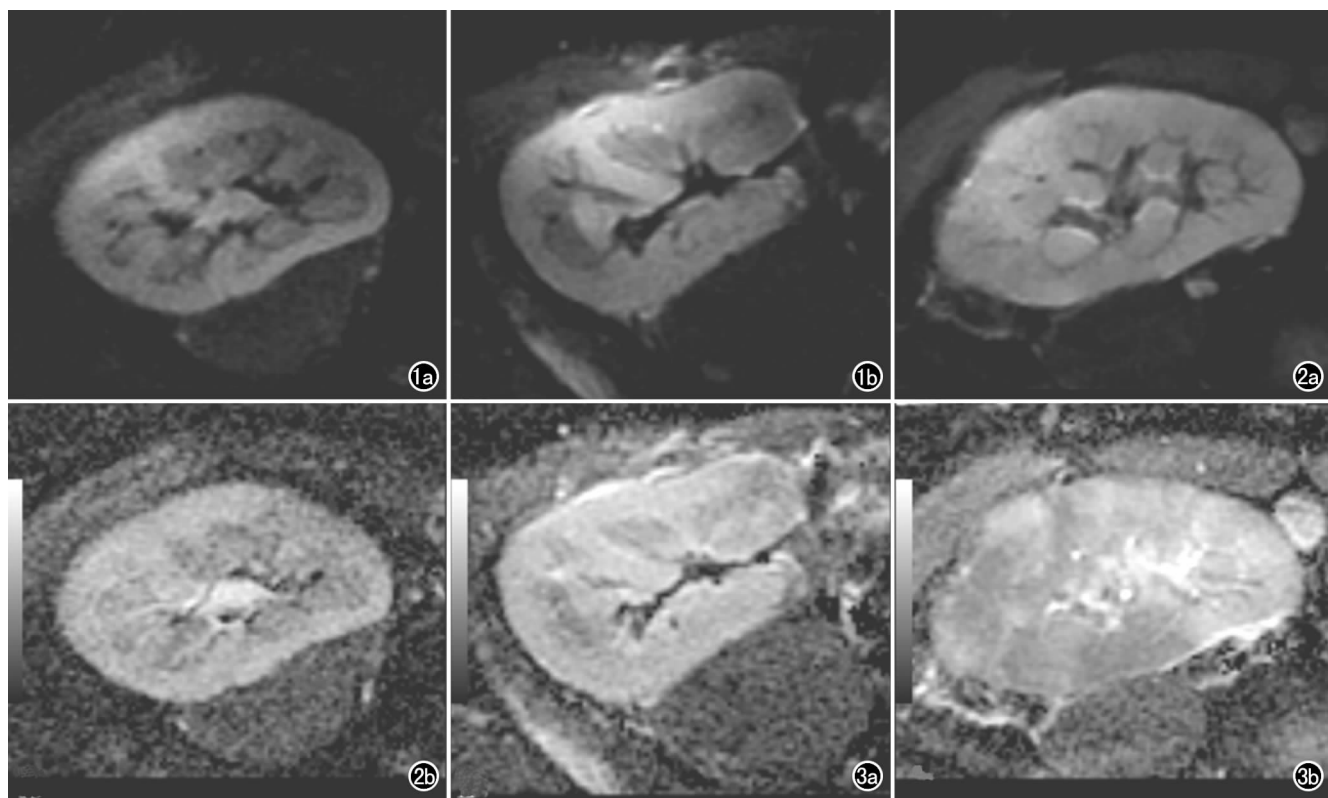


图 1 第 3 组患者($eGFR=74.98\text{ mL/min} \cdot 1.73\text{ m}^2$)DWI 图与 ADC 图,皮髓质信号均匀、分界清晰,皮质呈相对高信号,髓质呈相对低信号。a) rFOV DWI 图像; b) ADC 图。 图 2 第 2 组患者($eGFR=50.44\text{ mL/min} \cdot 1.73\text{ m}^2$)DWI 图与 ADC 图,大部分皮髓质分界尚清,肾实质后部髓质信号增高,接近皮质信号。a) rFOV DWI 图像; b) ADC 图。 图 3 第 1 组患者($eGFR=15.22\text{ mL/min} \cdot 1.73\text{ m}^2$)DWI 图与 ADC 图,皮髓质信号接近,分界不清,以 ADC 图更为显著。a) rFOV DWI 图像; b) ADC 图。

计学意义;第 1 组皮质 f 值显著低于 2、3 组($P<0.05$),且第 2 组 f 值显著低于第 3 组($P<0.05$);第 1 组髓质 f 值显著低于第 3 组($P<0.05$)。D 值在各组间差异均无统计学意义($P>0.05$,表 1)。

3. 移植肾皮髓质 rFOV DWI 各参数和 eGFR 间的相关性

皮质 ADC 值($r=0.398, P=0.01$)、皮质灌注分数 f ($r=0.673, P<0.001$)、髓质灌注分数 f ($r=0.413, P=0.007$)均与 eGFR 呈显著正相关,D 值与 eGFR 无相关性(图 4)。

4. rFOV DWI 各参数诊断移植肾功能受损的 ROC 曲线分析

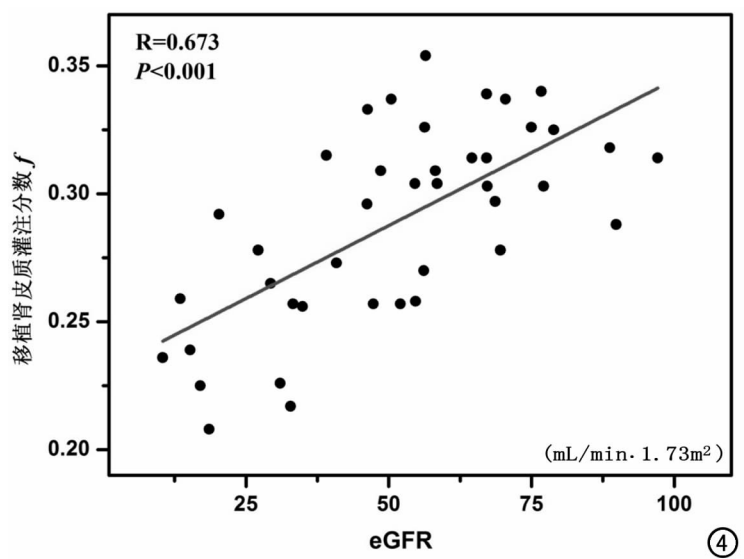


图 4 移植肾皮质灌注分数 f 与 eGFR 的相关性。

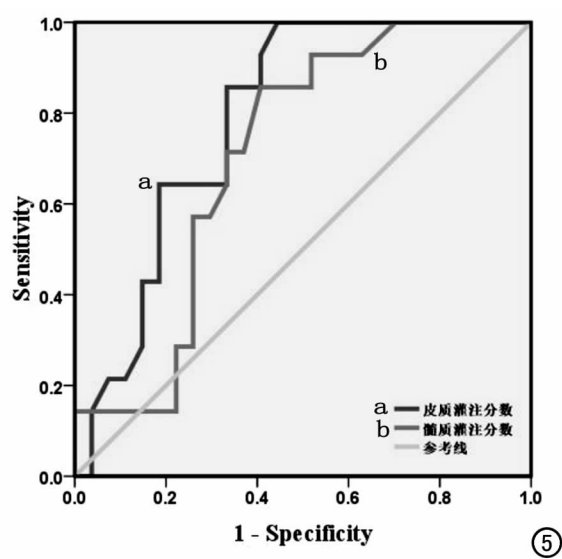


图 5 皮髓质 f 值诊断移植肾功能轻中度以上受损的 ROC 曲线。

皮、髓质灌注分数 f 值诊断移植肾功能轻中度以上受损($\text{eGFR} < 60 \text{ mL/min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$)的 ROC 曲线下面积分别为 0.79($P=0.003$)和 0.708($P=0.031$);以小于 0.283 为截点,皮质 f 值的诊断敏感度、特异度分别为 93%和 59%。ADC 值与 D 值无诊断效能($P > 0.05$,图 5)。

讨 论

小视野扩散加权成像已成功应用于脊柱、乳腺、胰腺、前列腺、甲状腺等器官^[10-15]。目前腹部 DWI 常用的依然是单次激发平面回波成像(single shot echo planar imaging,ss-EPI)序列,该序列 T_2^* 衰减过程中的读出时间较长,容易导致相位编码方向的图像模糊。腹部器官较多,加之胃肠道内容物的影响,磁化率的变化容易使图像扭曲、变形,各种伪影叠加在图像上,致使测量 ADC 值往往偏高,同时图像的空间分辨力和细节显示度不佳^[8]。与传统 DWI 相比,rFOV DWI 的伪影和图像变形大大减少,进一步提高了图像的空间分辨力,进而减小部分容积效应的影响。在定性诊断上,rFOV DWI 具有更优的图像质量,在定量诊断上,其 ADC 值具有更好的可重复性^[14]。本研究结果显示移植肾功能尚未显著下降患者的 rFOV DWI 图像中皮髓质分辨清晰,髓质信号低于皮质信号,随着移植肾功能的下降,髓质信号逐渐升高,重度下降或肾衰竭患者的髓质信号与皮质信号相似,同时能够显示局部肾实质结构的紊乱。

本研究显示移植肾功能正常或轻度下降的患者皮质 ADC 值显著高于移植肾功能重度受损或肾衰竭患者,这与相关研究结果是一致的^[16,17]。动物研究显示随着肾脏纤维化程度的加重,ADC 值呈下降趋势^[18]。相关研究对 321 例移植肾受体长达 2 年的纵向研究表明,随着移植肾功能的下降,间质纤维化与肾小管萎缩程度加重,而肾脏间质的纤维化常常伴随间质内细胞密度的增加和胶原的沉积,水分子的扩散运动往往受限^[19]。因此随着移植肾功能的下降,其 ADC 值降低。

本研究显示皮质灌注分数 f 值与 eGFR 具有较好的相关性,3 组患者间差异均有统计学意义,其判断不同阶段移植肾功能的敏感度较 ADC 值高。IVIM 理论已广泛应用于腹部器官的磁共振成像^[20-23],该理论指出,使用单个非零 b 值计算出的 ADC 值实际上包含两种成分,即水分子的单纯扩散运动和微循环的血流灌注效应^[4]。Eisenberger 等^[6]对 15 例移植肾受体患者术后 9~15d 的研究显示其中 4 例发生超急性排斥患者的 ADC 值与 f 值均有不同程度下降,而单纯扩散系数 D 值无明显变化,提示 f 值的变化是造成 ADC 值下降的主要原因。根据 IVIM 理论, f 值代表体素内

毛细血管流动血量所占的容积率^[24]。Heusch 等^[25]研究指出通过动脉自旋标记(arterial spin-labeling,ASL)技术得出的灌注值与 IVIM 得出的灌注分数 f 值具有很好的相关性,也证实了 f 值是反映组织灌注的可靠参数。随着移植肾间质纤维化程度的加重,微循环的血流灌注降低,可能是导致 f 值降低的主要原因。

综上所述,本研究提示皮质灌注分数 f 值较 ADC 值更为敏感,使用多 b 值 rFOV DWI 可无创性监测移植肾功能的变化。

参考文献:

- [1] Aktas A. Transplanted kidney function evaluation[J]. Semin Nucl Med, 2014, 44(2):129-145.
- [2] Inci MF, Ozkan F, See TC, et al. Renal transplant complications: diagnostic and therapeutic role of radiology[J]. Can Assoc Radiol J, 2014, 65(3):242-252.
- [3] Thoeny HC, De Keyser F. Diffusion-weighted MR imaging of native and transplanted kidneys[J]. Radiology, 2011, 259(1):25-38.
- [4] 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.
- [5] Thoeny HC, Zumstein D, Simon-Zoula S, et al. Functional evaluation of transplanted kidneys with diffusion-weighted and BOLD MR imaging: initial experience[J]. Radiology, 2006, 241(3):812-821.
- [6] Eisenberger U, Binser T, Thoeny HC, et al. Living renal allograft transplantation: diffusion-weighted MR imaging in longitudinal follow-up of the donated and the remaining kidney[J]. Radiology, 2014, 270(3):800-808.
- [7] Eisenberger U, Thoeny HC, Binser T, et al. Evaluation of renal allograft function early after transplantation with diffusion-weighted MR imaging[J]. Eur Radiol, 2010, 20(6):1374-1383.
- [8] Saritas EU, Cunningham CH, Lee JH, et al. DWI of the spinal cord with reduced FOV single-shot EPI[J]. Magn Reson Med, 2008, 60(2):468-473.
- [9] Saritas EU, Cunningham CH, Lee JH, et al. DWI of the spinal cord with reduced FOV single-shot EPI[J]. Magn Reson Med, 2008, 60(2):468-473.
- [10] Zaharchuk G, Saritas EU, Andre JB, et al. Reduced field-of-view diffusion imaging of the human spinal cord: comparison with conventional single-shot echo-planar imaging[J]. AJNR, 2011, 32(5):813-820.
- [11] Dong H, Li Y, Li H, et al. Study of the reduced field-of-view diffusion-weighted imaging of the breast[J]. Clin Breast Cancer, 2014, 14(4):265-271.
- [12] Ma C, Li YJ, Pan CS, et al. High resolution diffusion weighted magnetic resonance imaging of the pancreas using reduced field of view single-shot echo-planar imaging at 3T[J]. Magn Reson Imaging, 2014, 32(2):125-131.
- [13] Korn N, Kurhanewicz J, Banerjee S, et al. Reduced-FOV excitation decreases susceptibility artifact in diffusion-weighted MRI

- with endorectal coil for prostate cancer detection[J]. Magn Reson Imaging, 2015, 33(1):56-62.
- [14] Lu Y, Hatzoglou V, Banerjee S, et al. Repeatability investigation of reduced field-of-view diffusion-weighted magnetic resonance imaging on thyroid glands[J]. J Comput Assist Tomogr, 2015, Feb 13. Epub ahead of print.
- [15] Andre JB, Zaharchuk G, Saritas E, et al. Clinical evaluation of reduced field-of-view diffusion-weighted imaging of the cervical and thoracic spine and spinal cord[J]. AJNR, 2012, 33(10):1860-1866.
- [16] Toya R, Naganawa S, Kawai H, et al. Correlation between estimated glomerular filtration rate (eGFR) and apparent diffusion coefficient (ADC) values of the kidneys[J]. Magn Reson Med Sci, 2010, 9(2):59-64.
- [17] Blondin D, Lanzman RS, Mathys C, et al. Functional MRI of transplanted kidneys using diffusion-weighted imaging[J]. Rofo, 2009, 181(12):1162-1167.
- [18] Togao O, Doi S, Kuro OM, et al. Assessment of renal fibrosis with diffusion-weighted MR imaging: study with murine model of unilateral ureteral obstruction[J]. Radiology, 2010, 255(3):772-780.
- [19] Zhao J, Wang ZJ, Liu M, et al. Assessment of renal fibrosis in chronic kidney disease using diffusion-weighted MRI[J]. Clin Radiol, 2014, 69(11):1117-1122.
- [20] Dyvorne HA, Galea N, Nevers T, et al. Diffusion-weighted imaging of the liver with multiple b values: effect of diffusion gradient polarity and breathing acquisition on image quality and intra-voxel incoherent motion parameters-a pilot study[J]. Radiology, 2013, 266(3):920-929.
- [21] Kang KM, Lee JM, Yoon JH, et al. Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MR imaging for characterization of focal pancreatic lesions[J]. Radiology, 2014, 270(2):444-453.
- [22] Sigmund EE, Vivier PH, Sui D, et al. Intravoxel incoherent motion and diffusion-tensor imaging in renal tissue under hydration and furosemide flow challenges[J]. Radiology, 2012, 263(3):758-769.
- [23] 胡瑶, 胡道予, 王秋霞, 等. 多 b 值 DWI 指数模型对胰腺肿瘤鉴别诊断价值初探[J]. 放射学实践, 2014, 29(3):305-309.
- [24] Le Bihan D, Turner R. The capillary network: a link between IVIM and classical perfusion[J]. Magn Reson Med, 1992, 27(1):171-178.
- [25] Heusch P, Wittsack HJ, Heusner T, et al. Correlation of biexponential diffusion parameters with arterial spin-labeling perfusion MRI: results in transplanted kidneys[J]. Invest Radiol, 2013, 48(3):140-144.

(收稿日期:2015-03-09 修回日期:2015-03-31)

《请您诊断》栏目征文启事

《请您诊断》是本刊 2007 年新开辟的栏目,该栏目以临床上少见或容易误诊的病例为素材,杂志在刊载答案的同时配发专家点评,以帮助影像医生更好地理解相关影像知识,提高诊断水平。栏目开办 7 年来受到广大读者欢迎。《请您诊断》栏目荣获第八届湖北精品医学期刊“特色栏目奖”。

本栏目欢迎广大读者踊跃投稿,并积极参与《请您诊断》有奖活动,稿件一经采用稿酬从优。

《请您诊断》来稿格式要求:①来稿分两部分刊出,第一部分为病例资料和图片;第二部分为全文,即病例完整资料(包括病例资料、影像学表现、图片及详细图片说明、讨论等);②来稿应提供详细的病例资料,包括病史、体检资料、影像学检查及实验室检查资料;③来稿应提供具有典型性、代表性的图片,包括横向图片(X 线、CT 或 MRI 等不同检查方法得到的影像资料,或某一检查方法的详细图片,如 CT 平扫和增强扫描图片)和纵向图片(同一患者在治疗前后的动态影像资料,最好附上病理图片),每帧图片均需详细的图片说明,包括扫描参数、序列、征象等,病变部位请用箭头标明。

具体格式要求请参见本刊(一个完整病例的第一部分请参见本刊正文首页,第二部分请参见 2 个月后的杂志最后一页,如第一部分问题在 1 期杂志正文首页,第二部分答案则在 3 期杂志正文末页)

栏目主持:石鹤 联系电话:027-83662875 15926283035