

多b值DWI在肾透明细胞癌Fuhrman核级诊断中的应用研究

沈丽娟^{1,2}, 周良平², 彭卫军², 杨晓群³, 岳磊²

1. 复旦大学附属上海市第五人民医院放射科, 复旦大学上海医学院妇产科学系, 上海 200240;
2. 复旦大学附属肿瘤医院放射诊断科, 复旦大学上海医学院肿瘤学系, 上海 200032;
3. 复旦大学附属肿瘤医院病理科, 复旦大学上海医学院肿瘤学系, 上海 200032

[摘要] 背景与目的: 肾细胞癌是成人最常见的肾脏恶性肿瘤, 而Fuhrman核级系统是得到广泛认可的肾细胞癌预后判断的独立指标之一。本文旨在探讨多b值磁共振弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)与肾透明细胞癌(clear cell renal cell carcinoma, CCRCC)Fuhrman核级的相关性, 评价各指标在鉴别Fuhrman核级高级别与低级别肿瘤中的诊断效能。**方法:** 选取经病理证实为CCRCC的患者33例, 后处理选择不同b值组合测量肿瘤ADC值, 分析其与Fuhrman核级相关性。应用受试者操作特征性曲线评价不同b值组合所得ADC值在鉴别Fuhrman核级低级别(1、2级)及高级别(3、4级)CCRCC中的诊断效能。通过约登指数得出各参数的灵敏度和特异度。**结果:** 在33例CCRCC患者中, Fuhrman核级1级1例、2级14例、3级16例、4级2例, 不同b值所得肿瘤ADC值(ADC_{0-800} 、 $ADC_{0-400-800}$ 、 $ADC_{0-600-1200}$ 、 $ADC_{0-400-800-1200}$ 及 ADC_{total})与肿瘤Fuhrman核级均为负相关, 相关系数分别为-0.553、-0.511、-0.603、-0.645、-0.610, 其中 $ADC_{0-400-800-1200}$ 的相关系数绝对值最高。Fuhrman高级别组CCRCC的ADC值均明显低于低级别组, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。各ADC值的受试者工作特征性曲线(receiver operator characteristic curve, ROC曲线)的曲线下面积(area under the curve, AUC)分别为0.789、0.757、0.813、0.844、0.835, 以 $ADC_{0-400-800-1200}$ 最大, 但是各AUC差异无统计学意义($P > 0.05$)。各ADC值鉴别CCRCC高、低级别的灵敏度分别为86.7%、73.3%、60.0%、86.7%和86.7%; 特异度分别为66.7%、77.8%、72.2%、77.8%和72.2%。**结论:** ADC_{0-800} 、 $ADC_{0-400-800}$ 、 $ADC_{0-600-1200}$ 、 $ADC_{0-400-800-1200}$ 、 ADC_{total} 与肿瘤Fuhrman核级均具有显著相关性, 并在鉴别Fuhrman核级高级别与低级别肿瘤中具有较高的诊断效能。

[关键词] 肾细胞癌; Fuhrman核级; 磁共振成像; 弥散加权成像; 鉴别诊断

DOI: 10.3969/j.issn.1007-3969.2015.03.008

中图分类号: R737.11 文献标志码: A 文章编号: 1007-3639(2015)03-0205-06

Application of DWI with various b values in diagnosis of clear cell renal cell carcinoma Fuhrman grades SHEN Lijuan^{1,2}, ZHOU Liangping², PENG Weijun², YANG Xiaoqun³, YUE Lei² (1.Department of Radiology, the Fifth People's Hospital of Shanghai, Fudan University, Department of Gynecology and Obstetrics, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200240, China; 2.Department of Radiology, Fudan University Shanghai Cancer Center, Department of Oncology, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China; 3.Department of Pathology, Fudan University Shanghai Cancer Center, Department of Oncology, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China)
Correspondence to: ZHOU Liangping E-mail: zhoulp2003@aliyun.com

[Abstract] **Background and purpose:** Renal cell carcinoma is the most common type of adult renal cancer, and the Fuhrman grading system is the most widely accepted independent indicator for the prognosis of kidney tumors. This study aimed to explore the correlation between the conventional diffusion weighted imaging (DWI) with various b values and Fuhrman grade of clear cell renal cancer, and assess the diagnostic efficiency of ADC values at different b values in differentiating Fuhrman low- and high-grade tumor. **Methods:** Thirty-three patients with pathologically proved clear cell renal cell cancer (CCRCC) and qualified images were included for the research. The diagnostic effi-

ciency of ADC values at different b values for differentiating Fuhrman low- (1 and 2) and high-grade (3 and 4) tumor were also assessed and compared by receiver operator characteristic curve (ROC), and the optimum sensitivity, specificity and accuracy were selected using Youden index. **Results:** The 33 patients consist one tumor of Fuhrman grade 1, 14 of grade 2, 16 of grade 3 and 2 of grade 4. A negative correlation was found between the ADC_{0-800} , $ADC_{0-400-800}$, $ADC_{0-600-1200}$, $ADC_{0-400-800-1200}$ and ADC_{total} with Fuhrman grade (r : -0.553, -0.511, -0.603, -0.645, -0.610, respectively), among these the $ADC_{0-400-800-1200}$ showed the strongest correlation. The AUCs [area under the (receiver operator characteristic curve) ROC curve] of those parameters for differentiating the low- and high-grade tumor were 0.789, 0.757, 0.813, 0.844 and 0.835, among which the $ADC_{0-400-800-1200}$ reveal the best result, but the difference was not statistically significant ($P>0.05$). The sensitivity of the ADC values were 86.7%, 73.3%, 60.0%, 86.7% and 86.7%; The specificity were 66.7%, 77.8, 72.2%, 77.8% and 72.2%. **Conclusion:** ADC_{0-800} , $ADC_{0-400-800}$, $ADC_{0-600-1200}$, $ADC_{0-400-800-1200}$ and ADC_{total} revealed significant correlation with the Fuhrman grade of clear cell renal cancer, and providing high diagnostic efficiency in differentiating Fuhrman low- and high-grade tumor.

[**Key words**] Renal cell carcinoma; Fuhrman grade; Magnetic resonance imaging; Diffusion weighted imaging; Differential diagnosis

肾细胞癌为成人常见的肾脏恶性肿瘤, 其中最常见的是肾透明细胞癌(clear cell renal cell carcinoma, CCRCC)^[1], Fuhrman核级系统将肾细胞癌根据细胞核大小、外形、有无异形性及核仁的大小等分为4级, 是世界上多数学者接受并广泛采用的肾癌细胞分级标准, 也是目前被广泛认同的肾癌预后判断的独立指标之一^[2-3]。有研究显示, 核级1、2级及3、4级的5年生存率差异有统计学意义, 对判断患者预后具有重要意义^[4]。以往Fuhrman核级资料都是通过穿刺活检或手术获得, 目前已有学者^[5-8]将功能成像用于Fuhrman核级的鉴别诊断。

弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)是目前唯一能在活体上测量水分子运动的功能成像方法, 在良、恶性肿瘤^[9-11]及肾细胞癌不同亚型^[5,12-15]的鉴别诊断中的价值得到了广泛认可。近年已有报道将其用于Fuhrman核级诊断, 但结果并不一致^[5-8], 可能因所取b值不同有关, 有待于进一步研究。近年来有学者提出, 在单指数模式下采用>2个的b值组合测量出总ADC值在诊断效能上更佳, 并证实在判断强化与不强化病灶及良、恶性肿瘤中均具有较高的诊断效能^[16-17], 但在诊断Fuhrman核级中还未有研究。

本研究的目的在于评价3.0 T磁共振DWI不同b值组合所得ADC值与Fuhrman核级的相关

性, 同时比较各值在Fuhrman核级低级别组与高级别组间的差异性及其诊断效能。

1 资料和方法

1.1 临床资料

收集复旦大学附属肿瘤医院2012年6月—2013年2月间因超声或CT等其他影像学检查疑似肾脏占位性病变但不能明确诊断的患者48例接受磁共振DWI检查, 其中6例因无病理结果剔除, 在余下病例中1例经穿刺活检, 其余所有病例均经手术取得病理结果, 34例证实为CCRCC, 其中1例以囊性为主且分隔菲薄, 导致数据采集失败, 剔除出本研究, 8例其他病理类型肿瘤均剔除出本研究, 余33例患者(共33个病灶)入组本研究。所有患者均在3.0 T MRI上行常规磁共振增强扫描及DWI, 所有患者均签署知情同意书。

1.2 检查方法

1.2.1 仪器与设备

采用3.0 T磁共振扫描仪(Signa HDx; GE Healthcare, Milwaukee, WI, USA), 以体线圈为射频发射线圈, 以8通道腹部相控阵线圈为接收线圈。

1.2.2 扫描准备及序列

患者检查前6 h禁食, 取常规仰卧位。扫描前使用阵列空间敏感性编码技术(array spatial sensitivity encoding technique, ASSET)减小图像

噪声。所用扫描序列包括横轴位快速扰相梯度回波序列(fast spoiled gradient echo, FSPGR)化学位移成像 [inphase: TR 230 ms, TE 2.424 ms及 outphase: TR 240 ms, TE 3.15 ms, 层厚6 mm, 间距2 mm, 矩阵 320×170 , 视野(field of view, FOV) 38 cm] 和脂肪抑制及呼吸触发快速恢复自旋回波脉冲序列(fast recovery fast spin echo, FRFSE)T2WI [TR 6 315.8 ms, TE 85.2 ms, 层厚6 mm, 间距2 mm, 矩阵 320×224 , FOV 38 cm, 激发次数(number of excitation, NEX) 2次], 常规两b值DWI检查采用单次激发自旋平面回波 (spin-echo echo-planar imaging, SE-EPI) 序列(b值: 0、800 s/mm^2 , TR 1 825 ms, TE 62.3 ms, 层厚6 mm, 间距2 mm, 矩阵 96×130 , FOV 38 cm, NEX 5次), 多b值DWI检查采用单次激发SE-EPI序列(b值分别为0、20、50、100、150、250、400、600、800、1 000、1 200 s/mm^2 , TR 4 000 ms, TE 71.1 ms, 层厚6 mm, 间距2 mm, 矩阵 128×128 , FOV 38 cm, NEX 2次)。动态增强扫描采用横断面肝脏三维容积快速采集(liver acceleration volume acquisition, LAVA)序列(TR 2.964 ms, TE 1.36 ms, 层厚2.5 mm, 无间距, 矩阵 256×180 , FOV 42 cm, 反转角为 12°), 检查前用8 G静脉留置针建立静脉通道, 对比剂采用马根维显(Magnevist, Bayer Schering Pharma AG, Germany), 用量为0.2 mmol/kg体重, 注射速度为2 mL/s, 注射完毕后追加20 mL 0.9%的NaCl溶液, 推注对比剂的同时开始扫描, 共扫描50期, 单次扫描时间4 s, 无间隔, 注射对比剂前加扫同样序列与参数的蒙片图。注射造影剂后5 min, 采用LAVA序列扫描冠状面延迟相图像(TR 3.22 ms, TE 1.512 ms, 层厚3 mm, 无间距, 矩阵 260×192 , FOV 42 cm)

1.3 图像处理

所有影像资料及图像处理均由2名具有多年泌尿系统肿瘤磁共振诊断经验的放射科医师在工作站上共同完成, 2名医师均不知病理结果, 意见不一致时协商解决。

ADC值的测量在ADW4.3工作站(GE, USA)上进行, 采用FuncTool软件进行图像数据测

量及后处理。参照T2WI图像, 在DWI b=0图像上选取肿瘤实质部分作感兴趣区(region of interest, ROI)测量ADC值, 避开肿瘤囊变及坏死部分, 并显示伪彩图。先测量b值为0~800 s/mm^2 的常规ADC值, 用 ADC_{0-800} 表示; 再计算不同b值组合ADC值, 按等差系列选取3组b值组合: 0~400~800 s/mm^2 、0~600~1 200 s/mm^2 、0~400~800~1 200 s/mm^2 , 最后测量所有10个b值总的组合, 对应的ADC值分别用 $\text{ADC}_{0-400-800}$ 、 $\text{ADC}_{0-600-1 200}$ 、 $\text{ADC}_{0-400-800-1 200}$ 及 $\text{ADC}_{\text{total}}$ 表示, 工作站自动线性拟合后用常规DWI相同公式计算。ROI应尽量包括完整的病灶实质部分, 所有ADC值测量3次取平均值。选取患侧肾脏远离病变的肾皮质作ROI, 测得ADC值, 作为参照, 病变较大时采用对侧肾皮质作参照。

1.4 统计学处理

采用STATA 10.0统计软件进行分析。计量资料首先采用单样本K-S拟合优度检验和Levene's方差齐性检验, 检验样本正态性及方差齐性。所有计量资料均以 $\bar{x} \pm s$ 来表示, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。采用Spearman法检验不同b值ADC值与Fuhrman核级的相关性。Fuhrman核级低级别肿瘤及高级别肿瘤组间不同b值ADC值行独立样本t检验; 然后绘制受试者工作特征性曲线(receiver operator characteristic curve, ROC曲线)、并计算曲线下面积(area under the curve, AUC)进行Z检验, 最后再根据最大约登指数(约登指数=灵敏度+特异度-1)确定最佳诊断切点值, 评价各个值的诊断效能。

2 结 果

2.1 临床资料

在33例CCRCC患者中, 女性11例(33.3%), 男性22例(66.7%), 年龄30~75岁, 平均年龄54.7岁, 中位年龄54岁。Fuhrman核级1级1例、2级14例、3级16例、4级2例。因1级及4级患者数量太少, 故参照文献将Fuhrman 1级及2级病例合并为Fuhrman核级低级别组, Fuhrman 3级及4级病例合并为Fuhrman核级高级别组。低级别组中

平均年龄为52岁, 高级别组的平均年龄为56.9岁, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。组间性别分布差异也无统计学意义($P > 0.05$)。

2.2 肿瘤ADC值与Fuhrman核级的相关性

不同b值ADC值与Fuhrman核级的相关性采用Spearman法检验, 检验显示所有ADC值与Fuhrman核级均线性相关。随着Fuhrman核级增高, 肿瘤的所有b值组合测得的ADC值均随之减低, 高级别肿瘤的ADC值明显低于低级别肿瘤。不同b值所测得的ADC值之间强相关。相关系数绝对值在b值取0~400~800~1 200 s/mm²时最高, 在0~400~800 s/mm²时最低(表1)。

2.3 不同b值ADC值Fuhrman核级组间比较

Fuhrman核级低级别与高级别肿瘤不同b值ADC值均呈正态分布并满足方差齐性, 独立样本t检验分析显示Fuhrman核级高级别肿瘤不同b值所测得的ADC值均明显低于低级别肿瘤, 组间差异均有统计学意义(表2)。

2.4 不同b值ADC值对Fuhrman核级诊断效能的比较

以Fuhrman核级病理结果为金标准, 绘制ADC₀₋₈₀₀、ADC₀₋₄₀₀₋₈₀₀、ADC_{0-600-1 200}、ADC_{0-400-800-1 200}及ADC_{total}的ROC曲线(图1), 得出5条ROC曲线, AUC分别为0.789、0.757、0.813、0.844、0.835, 均>0.700, 诊断效能均较高, ADC_{0-400-800-1 200}的ROC曲线AUC最大, 但是各AUC差异无统计学意义($P > 0.05$)。找出各指标的最佳临界点, 也就是最大约登指数, 约登指数越大, 判断的符合率越高, 约登指数最大时对应的临界值为最佳诊断切点值, 最大约登指数以ADC_{0-400-800-1 200}最大。再根据最佳诊断切点值得到ADC₀₋₈₀₀、ADC₀₋₄₀₀₋₈₀₀、ADC_{0-600-1 200}、ADC_{0-400-800-1 200}、ADC_{total}, 判断Fuhrman核级低级别与高级别CCRCC的灵敏度和特异度, 由结果可知ADC₀₋₈₀₀、ADC_{0-600-1 200}、ADC_{0-400-800-1 200}及ADC_{total}的灵敏度较高(86.7%), ADC₀₋₄₀₀₋₈₀₀及ADC_{0-400-800-1 200}的特异度较高(77.8%), 总体来说为ADC_{0-400-800-1 200}最佳(表3)。

表 1 不同b值组合ADC值与Fuhrman核级的相关性

Tab. 1 Correlation of ADC values with the Fuhrman nuclear grading of tumors

Item	ADC ₀₋₈₀₀	ADC ₀₋₄₀₀₋₈₀₀	ADC _{0-600-1 200}	ADC _{0-400-800-1 200}	ADC _{total}
Correlation coefficient	-0.553	-0.511	-0.603	-0.645	-0.610
P value	0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001

表 2 Fuhrman核级低级别及高级别肿瘤不同b值ADC值结果

Tab. 2 ADC values of Fuhrman low- and high-grade tumors

Item	ADC ₀₋₈₀₀	ADC ₀₋₄₀₀₋₈₀₀	ADC _{0-600-1 200}	ADC _{0-400-800-1 200}	ADC _{total}
Fuhrman low-grade tumors	1.89±0.21	1.96±0.22	1.81±0.15	1.80±0.17	1.87±0.20
Fuhrman high-grade tumors	1.64±0.29	1.71±0.31	1.55±0.27	1.51±0.27	1.57±0.26
P value	0.009	0.013	0.003	0.001	0.001

表 3 最大径及各b值ADC值ROC曲线AUC的、灵敏度、特异度和准确性

Tab. 3 The AUC analysis of maximum diameter and ADC values and corresponding sensitivity, specificity, and accuracy in prediction of Fuhrman low- and high-grade tumors

Item	ADC ₀₋₈₀₀	ADC ₀₋₄₀₀₋₈₀₀	ADC _{0-600-1 200}	ADC _{0-400-800-1 200}	ADC _{total}
AUC	0.789	0.757	0.813	0.841	0.835
The biggest Youden's index	0.533	0.511	0.634	0.645*	0.589
The best diagnostic cutoff point	1.74	1.92	1.65	1.70	1.73
Sensitivity	86.7%*	73.3%	86.7%*	86.7%*	86.7%*
Specificity	66.7%	77.8%*	66.7%	77.8%*	72.2%
Accuracy	75.8%	75.8%	69.7%	81.82%*	78.9%

*: The highest value.

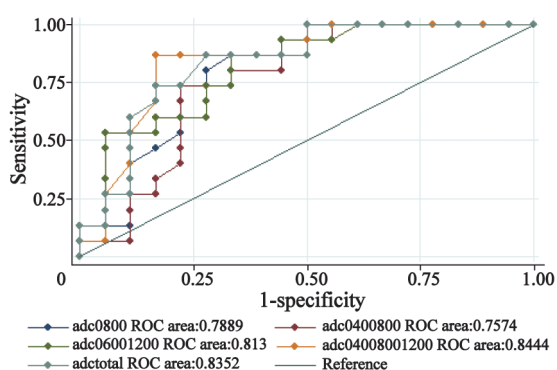


图1 各b值ADC值ROC曲线

Fig. 1 The ROC curves of ADC values

3 讨 论

肾细胞癌的Fuhrman核级是其预后判断的独立指标之一，Tsui等^[4]对643例肾细胞癌患者的研究显示，核分级1、2级肿瘤的5年生存率分别为89%、65%，而核分级3、4级的肿瘤5年生存率仅为46%，差异有统计学意义。因此，肾肿瘤Fuhrman核级对患者预后判断有重要意义。以往CCRCC的Fuhrman核级资料都是通过穿刺活检或手术获得，近年来弥散加权成像在CCRCC的Fuhrman核级鉴别诊断中的应用研究逐渐受到重视，但研究较少^[5-7]。Sandrasegaran等^[6]对17例CCRCC患者的研究显示，Fuhrman低级别(1、2级)的CCRCC的ADC值与高级别(3、4级)之间差异无统计学意义($P=0.12$)。然而Goyal等^[5]研究了33例患者显示，Fuhrman高级别CCRCC的ADC值明显低于低级别，差异有统计学意义($P=0.005$)。该结果与Yu等^[7]的研究一致，同时Yu等研究显示1级与2级、3级与4级之间差异无统计学意义。国内张瑾等^[8]采用0及800 s/mm²的b值组合研究了110例病例，证实ADC值在1、2级与3、4级组间差异有统计学意义，1级与2级、3级与4级之间差异也无统计学意义。本组研究与大多数学者一致，认为DWI在鉴别高、低级别CCRCC中具有较大应用前景。

磁共振DWI是新的磁共振功能成像技术，利用磁共振对运动检测敏感的特性，对活体水分子扩散情况进行测定，但由于对运动敏感，运动伪影影响较大，之前主要应

用于中枢神经系统^[18]，近年来随着软件及硬件的发展、技术条件的进步，明显提高了信噪比和时间、空间分辨率，应用范围日益扩展，诊断准确性也进一步提高，目前DWI技术已经在腹部脏器得到了很好的应用^[19]。由于肾脏特殊的解剖结构，肾脏病变对肾组织内水分子的自由扩散运动会造成不同程度的影响，为DWI在肾脏中的应用提供了组织学基础，其在肾脏占位中的应用研究逐渐增多^[20]。

在肾脏的DWI临床应用中，双b值单指数函数模式应用较广，且具有较高的灵敏度和特异度，在良、恶性肿瘤^[10-11]及肾细胞癌不同亚型^[5,12-15]的鉴别诊断中的价值得到了广泛认可。单指数模式公式是 $ADC=(\ln S1/S2)/(b2-b1)$ ($b2>b1$)， $b1$ 、 $b2$ 为施加的两个弥散敏感因子且 $b2>b1$ ， $S1$ 、 $S2$ 则为两个b值下同一部位组织的信号强度。b值为影响ADC值的重要因素，目前 $b1$ 值无论是在1.5 T还是3.0 T磁共振上，通常都设为0 s/mm²， $b2$ 值的选择尚无统一意见，也是临床研究所面临的问题，目前主要是在400~1 000 s/mm²之间^[21]，使用高 $b2$ 值有助于增加区分不同组织的灵敏度，但是会降低信噪比以及肿瘤和其他组织信号的绝对差值。目前因为硬件设备提高，信噪比有所提高， $b2$ 值的选择空间有增加，但综合考虑灵敏度及信噪比，认为应用800 s/mm²的效果较好的占多数^[6,12,21]。本研究常规DWI采用0、800 s/mm²的b值。

Zhang等^[22]提出单指数模式双b值DWI存在一定的缺陷，其认为不同b值选择会造成相同组织的ADC值不同，应选择一组固定的b值或在计算模式上做出改进。Chandarana等^[16]提出在单指数模式下采用>2个的b值组合，采用线性拟合后计算出总ADC值在诊断效能上更佳。因真实的衰减模式为曲线，0与单一点构成的直线模式较片面，多点线性拟合，更能体现真实的衰减情况，认为取多个较高b值剔除较低b值的影响更能反映真实的弥散情况，故具有较高的诊断效能，但其研究仅显示在鉴别强化病

灶与不强化病灶中具有较高诊断效能。Taouli等^[17]对64例患者的研究显示, $ADC_{0-400-800}$ 在鉴别良、恶性肿瘤中也具有较高的诊断效能, 但与 ADC_{0-400} 、 ADC_{0-800} 相比, 差异无统计学意义。在诊断Fuhrman核级中未见相关报道, 故本研究将 $ADC_{0-400-800}$ 、 $ADC_{0-600-1200}$ 、 $ADC_{0-400-800-1200}$ 、 ADC_{total} 与 ADC_{0-800} 一同纳入研究, 并比较其诊断效能。

本研究结果显示, 不同b值取值下的ADC值在高级别与低级别CCRCC中差异均有统计学意义, 并且与Fuhrman核级均呈线性相关, 鉴别两组病例的诊断效能也较高。当b值取 $0-400-800-1200$ s/mm²时相关系数最大, 虽然各组的ROC曲线AUC的差异无统计学意义, 但诊断灵敏度和特异度总体来说还是多个b值组合的ADC值更佳。本组的样本量较小, 这可能是各组ROC曲线AUC的差异没有统计学意义的原因, 我们认为多b值弥散加权成像在鉴别诊断Fuhrman核级中具有很大的应用前景, 有待进一步大样本研究。

[参 考 文 献]

- [1] JEMAL A, SIEGEL R, WARD E, et al. Cancer statistics, 2009 [J]. CA Cancer J Clin, 2009, 59(4): 225-249.
- [2] MINARDI D, LUCARINI G, MAZZUCHELLI R, et al. Prognostic role of Fuhrman grade and vascular endothelial growth factor in pT1a clear cell carcinoma in partial nephrectomy specimens [J]. J Urol, 2005, 174(4 Pt 1): 1208-1212.
- [3] GUDBJARTSSON T, HARDARSON S, PETURSDOTTIR V, et al. Histological subtyping and nuclear grading of renal cell carcinoma and their implications for survival: a retrospective nation-wide study of 629 patients [J]. Eur Urol, 2005, 48(4): 593-600.
- [4] TSUI K H, SHVARTS O, SMITH R B, et al. Prognostic indicators for renal cell carcinoma: a multivariate analysis of 643 patients using the revised 1997 TNM staging criteria [J]. J Urol, 2000, 163(4): 1090-1095.
- [5] GOYAL A, SHARMA R, BHALLA A S, et al. Diffusion-weighted MRI in renal cell carcinoma: a surrogate marker for predicting nuclear grade and histological subtype [J]. Acta Radiol, 2012, 53(3): 349-358.
- [6] SANDRASEGARAN K, SUNDARAM C P, RAMASWAMY R, et al. Usefulness of diffusion-weighted imaging in the evaluation of renal masses [J]. AJR Am J Roentgenol, 2010, 194(2): 438-445.
- [7] YU X, LIN M, OUYANG H, et al. Application of ADC measurement in characterization of renal cell carcinomas with different pathological types and grades by 3.0T diffusion-weighted MRI [J]. Eur J Radiol, 2012, 81(11): 3061-3066.
- [8] 张瑾, 周纯武. 肾脏实性肿瘤的3.0T MR扩散加权成像研究 [J]. 放射学实践, 2013, 28(8): 870-873.
- [9] CHANDARANA H, KANG S K, WONG S, et al. Diffusion-weighted intravoxel incoherent motion imaging of renal tumors with histopathologic correlation [J]. Invest Radiol, 2012, 47(12): 688-696.
- [10] SQUILLACI E, MANENTI G, DI S F, et al. Diffusion-weighted MR imaging in the evaluation of renal tumours [J]. J Exp Clin Cancer Res, 2004, 23(1): 39-45.
- [11] ZHANG J, TEHRANI Y M, WANG L, et al. Renal masses: characterization with diffusion-weighted MR imaging—a preliminary experience [J]. Radiology, 2008, 247(2): 458-464.
- [12] WANG H, CHENG L, ZHANG X, et al. Renal cell carcinoma: diffusion-weighted MR imaging for subtype differentiation at 3.0 T [J]. Radiology, 2010, 257(1): 135-143.
- [13] 余小多, 林蒙, 欧阳汉, 等. 3.0T MR扩散加权成像诊断肾脏恶性肿瘤 [J]. 中国医学影像技术, 2010, 26(3): 538-542.
- [14] PAUDYAL B, PAUDYAL P, TSUSHIMA Y, et al. The role of the ADC value in the characterisation of renal carcinoma by diffusion-weighted MRI [J]. Br J Radiol, 2010, 83(988): 336-343.
- [15] 王鑫坤, 叶慧义, 王海屹, 等. 扩散加权成像对非透明细胞肾癌亚型的鉴别诊断价值 [J]. 中国医学影像学杂志, 2013, 21(5): 377-379.
- [16] CHANDARANA H, LEE V S, HECHT E, et al. Comparison of biexponential and monoexponential model of diffusion weighted imaging in evaluation of renal lesions: preliminary experience [J]. Invest Radiol, 2011, 46(5): 285-291.
- [17] TAOULI B, THAKUR R K, MANNELLI L, et al. Renal lesions: characterization with diffusion-weighted imaging versus contrast-enhanced MR imaging [J]. Radiology, 2009, 251(2): 398-407.
- [18] BRUGIERES P, THOMAS P, MARAVAL A, et al. Water diffusion compartmentation at high b values in ischemic human brain [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2004, 25(5): 692-698.
- [19] KOH D M, COLLINS D J, ORTON M R. Intravoxel incoherent motion in body diffusion-weighted MRI: reality and challenges [J]. AJR Am J Roentgenol, 2011, 196(6): 1351-1361.
- [20] KIM S, NAIK M, SIGMUND E, et al. Diffusion-weighted MR imaging of the kidneys and the urinary tract [J]. Magn Reson Imaging Clin N Am, 2008, 16(4): 585-596.
- [21] 张月浪, 鱼博浪, 王珂, 等. 磁共振弥散加权成像在肾脏常见占位性病变中的诊断价值 [J]. 现代泌尿外科杂志, 2011, 16(3): 206-209.
- [22] ZHANG J L, SIGMUND E E, CHANDARANA H, et al. Variability of renal apparent diffusion coefficients: limitations of the monoexponential model for diffusion quantification [J]. Radiology, 2010, 254(3): 783-792.

(收稿日期: 2014-04-29 修回日期: 2014-08-03)