

非对比剂增强肾动脉 MRA 的可行性研究

杨学东, 房刚, 郭雪梅, 申皓, 朱海滨, 王霄英, 孙晓伟, 蒋学祥

【摘要】 目的:探讨流入反转恢复(IFIR)稳态自由进动(FIESTA)结合呼吸激发技术进行肾动脉成像的可行性。**方法:**采用 GE 1.5T 和 3.0T MR 机,对疑诊上腹部病变的 24 例患者采用 IFIR-FIESTA 序列和基于薄层 LAVA 技术增强扫描进行肾动脉成像,采用 MIP 法进行图像重组,对 2 组肾动脉图像的总质量、肾静脉伪影及肾动脉分支显示情况,由 2 位观察者采用 5 级评分法进行对照分析,并记录 2 组检出的副肾动脉以及肾动脉狭窄情况。**结果:**24 例患者均成功完成 IFIR-FIESTA 和 LAVA 扫描。观察者 1 评价结果:IFIR-FIESTA 组图像质量评分为 4.0 分、2 例(2/24)未达诊断要求者均为腹水患者;LAVA 组为 3.8 分,2 组间差异无显著性意义($P>0.05$)。观察者 2 对 IFIR-FIESTA 组图像质量评分为 4.2 分(仅 1 例未达到诊断要求),优于 LAVA 组(3.7 分),2 组间差异有显著性意义($P>0.05$)。观察者 1 对 IFIR-FIESTA 组图像上肾静脉伪影及肾动脉分支显示情况的评分分别为 4.8 分和 2.5 分,显著高于 LAVA 组的 3.4 分和 1.6 分;观察者 2 对 IFIR-FIESTA 组这 2 项的评分分别为 4.9 分和 2.6 分,也高于 LAVA 组的 3.5 分和 1.7 分($P<0.05$)。**结论:**使用 IFIR-FIESTA 技术肾动脉成像无需对比剂且成功率高,在临床上是可行的。

【关键词】 肾动脉;对比剂;磁共振血管成像

【中图分类号】 R445.2; R543.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2009)11-1265-05

Study of Feasibility of Non-contrast Enhanced Magnetic Resonance Angiography of Renal Artery YANG Xue-dong, Fang Gang, Guo Xue-mei, et al. Department of Radiology, Peking University First Hospital, Functional Imaging Center, Advanced academy of Interdisciplinary Sciences, PKU, Beijing 100034, P. R. China

【Abstract】 Objective: To investigate the feasibility of Inflow Inversion Recovery (IFIR)-fast imaging employing steady-state acquisition (FIESTA) combined with respiratory-triggering technique in MR angiography (MRA) of renal artery. **Methods:** Twenty-four patients with suspected abdominal disease were included in this study. MIP images of kidney arteries were reconstructed based on axial images acquired with IFIR-FIESTA and contrast enhanced MR angiography (CEMRA) from thin-slice LAVA. The image quality, assessment of renal vein artifact and renal artery branches were compared between the two groups. Results were scored as 5 grades and analyzed by 2 observers, accessory renal arteries and stenosis of renal arteries were recorded as well. **Results:** All the 24 patients had IFIR-FIESTA and LAVA successfully completed, 22/24 patients got score 4.0 for image quality on IFIR-FIESTA. By observer 1, (the two patients with low-quality images were due to ascites), the score for LAVA group was 3.8, no statistical difference was existed between these 2 groups ($P>0.05$). The image score of IFIR-FIESTA group was 4.2 by observer 2 (only one patient didn't reach the requirement of diagnosis), which was superior to the LAVA group (score 3.7), significant statistical difference was existed ($P<0.05$). Scores for renal vein artifact and demonstrating renal artery branches in IFIR-FIESTA images group were 4.8 and 2.5 respectively by observer 1, which were significantly higher than that of LAVA group (3.4 and 1.6 respectively). As for observer 2, scores for renal vein artifact and renal artery branches in IFIR-FIESTA group were 4.9 and 2.6 respectively, which also were higher than those in the LAVA group (3.5 and 1.7 respectively) ($P<0.05$). **Conclusion:** Non-contrast enhanced magnetic resonance angiography of renal artery with IFIR-FIESTA technique is feasible in clinical routine practice.

【Key words】 Renal artery; Contrast material; Magnetic resonance angiography

肾动脉狭窄(renal artery stenosis, RAS)同高血压和肾功能衰竭密切相关,其早期诊断对预后有重要意义。血管造影是诊断 RAS 的金标准,但其有创性决

定了其不能作为筛查手段。CTA 和 MRA 相对而言创伤小,而且诊断 RAS 的准确性已经得到临床的公认^[1-3]。然而 CTA 检查有辐射危害,使用的碘离子对比剂具有肾毒性^[4]。MRA 无辐射危害,其使用的含钆对比剂原认为是相对安全的,但近期已经证实钆(Gd)对比剂与肾源性系统性纤维化(nephrogenic systemic fibrosis, NSF)有关^[5], NSF 是一种全身性进行性疾病,而且可致命^[6]。因此非对比剂增强 MRA 就

作者单位:100034 北京,北京大学第一医院医学影像科 北京大学前沿交叉学科研究院功能成像研究中心(杨学东、郭雪梅、朱海滨、王霄英、孙晓伟、蒋学祥);266200 山东,即墨市中医医院(房刚);100176 北京,GE 公司磁共振产品技术部(申皓)

作者简介:杨学东(1976-),男,山东人,博士研究生,主要从事磁共振影像诊断工作。

通讯作者:孙晓伟, E-mail: wei-@163.com

更具有临床重要性。文献报道的非对比剂增强 MRA 多采用三维稳态自由进动序列^[7,8]。国内尚无此类方法的报道,本研究的目的在于探讨流入反转恢复(in-flow inversion recovery, IFIR)稳态自由进动(fast imaging employing steady-state acquisition, FIESTA)序列结合呼吸触发进行肾动脉成像的可行性。

材料与方法

1. 研究对象

2009 年 1 月~3 月将所有疑诊上腹部和肾脏病变且无 MRI 扫描和使用 Gd-DTPA 禁忌症、拟行增强 MRI 检查的患者纳入研究。其中男 13 例,女 11 例,年龄 26~77 岁,平均 52.7 岁。

2. 扫描方法

使用 3.0T 和 1.5T GE Signa Excite MR 扫描仪,其中 3.0T 共扫描患者 14 例,1.5T 扫描 10 例。两组均采用 8 通道 torso 相控阵线圈。所有患者均在常规平扫后采用呼吸触发 IFIR-FIESTA 序列进行扫描,然后采用肝脏加速容积采集技术(liver acquisition with acceleration volume acquisition, LAVA)行平扫及增强扫描,LAVA 增强扫描采用双筒高压注射器静脉内团注 0.1 mmol/kg 的 Gd-DTPA,流率 3 ml/s,随即以 3 ml/s 的流率注射 20 ml 生理盐水冲管。

在前期的研究中已经证明 LAVA 动脉期图像重组的肾动脉图像除 Z 轴分辨力低于对比剂增强 MRA (contrast enhanced MRA, CEMRA) 外,图像质量与后者相当^[9],故本研究中原 LAVA 序列的基础上将层厚改为 2.2 mm,重建层厚 1.1 mm,从而使其空间分辨力升高,作为 IFIR-FIESTA 的 CE-MRA 对照组,其它扫描参数见表 1。两种扫描序列均使用阵列空间敏感编码技术(array spatial sensitivity encoding technique, ASSET),相位加速因子为 2.0。IFIR-FIESTA 扫描时间 1.5T 为 3 min 45 s,3.0T 为 4 min 17 s。

表 1 1.5T 和 3.0TMR 机 LAVA 和 IFIR-FIESTA 序列扫描参数

参数	LAVA		IFIR-FIESTA	
	1.5T	3.0T	1.5T	3.0T
TR/TE(ms)	3.8/1.7	3.6/1.5	4.5/2.2	4.7/2.3
压脂 TI(ms)	7.0	5.0	200	240
BSP* TI(ms)	—	—	1200	1300
矩阵	288×160	270×160	256×256	256×256
翻转角(°)	15	15	70	50
带宽(kHz)	100	125	125	125

注:血流抑制时间(blood suppression, BSP)。

3. 图像后处理及评价

在 AW 4.2 工作站上使用 Functool 软件将 IFIR-

FIESTA 扫描的原始图像和 LAVA 动脉期图像进行 MIP 重组。两位有经验的 MRI 医师分别独立阅片,均不知研究目的。图像质量参照 Danias 等^[10]的方法,进行 5 级评分。1 分:图像质量差,无法诊断;2 分:血管结构能够辨认,但明显模糊或有明显的伪影,诊断不可靠;3 分:血管结构能够辨认,中等程度模糊或伪影,能够诊断;4 分:图像质量好,结构清晰,轻度模糊或伪影,能明确诊断;5 分:图像优良,边缘锐利,能够明确诊断。以≥3 分为达到诊断要求。肾静脉伪影评分标准参考 Wilman 等^[11]的方法,1 分:信号强度高于相应侧的肾动脉;2 分:信号强度等于相应肾动脉;3 分:信号明显增高,但低于相应侧肾动脉;4 分:轻微信号增高;5 分:无信号增高。对肾动脉分支显示情况进行评分:主干为 1 分,一级分支 2 分,二级分支 3 分,三级分支 4 分。同时对有无肾动脉狭窄及狭窄程度做出判断,肾动脉狭窄及其程度由两位医师共同协商确定,狭窄程度分级:1%~49%,50%~75%,76%~99%和完全闭塞(100%)。有副肾动脉者,两位观察者对其位置和数目以及狭窄情况共同分析并记录。同时阅读常规图像,记录患者有无腹水。

4. 统计分析

采用 SPSS 13.0 软件,图像质量、肾静脉伪影及肾动脉分支评分采用两观察者间的 Kappa 分析,Kappa 值>0.75 为一致性好,0.4≤Kappa 值≤0.75 为一致性较好,Kappa 值<0.4 为一致性差。对两组图像评分的等级资料行非参数资料 Wilcoxon 检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

所有受试者均成功完成 IFIR-FIESTA 和 LAVA 扫描。扫描时人体特异吸收率均在正常范围。

经非参数 Mann-Whitney U 检验,两观察者对两组图像的图像质量、肾静脉伪影及肾动脉分支评分在 3.0T 和 1.5T 上差异无显著意义($P>0.05$),故将两机型数据合并分析。

两观察者对两组肾动脉成像的图像质量、肾静脉伪影及肾动脉分支的评分结果和 kappa 分析以及对上述指标两组间的 Wilcoxon 检验结果见表 2。除 IFIR-FIESTA 组的肾静脉伪影评分 Kappa 值为 0.33 外,其余指标均为一致性较好或好。

图像质量评分:观察者 1 对 IFIR-FIESTA 组除 2 例评分为 2 分(不合诊断要求)外,其余 22 例(22/24)均达到诊断要求(图 1),评分为 2 分的 2 例均为腹水患者;观察者 2 认为有 23 例(23/24)达到诊断要求,只

表 2 IFIR-FIESTA 与 LAVA 组图像质量评分

指标	IFIR-FIESTA 组			LAVA 组			P 值	
	观察者 1	观察者 2	Kappa 值	观察者 1	观察者 2	Kappa 值	观察者 1	观察者 2
总体评分	4.0	4.2	0.64	3.8	3.7	0.52	0.75	0.04
肾静脉伪影	4.8	4.9	0.33	3.4	3.5	0.56	<0.001	<0.001
肾动脉分支	2.5	2.6	0.61	1.6	1.7	0.86	0.01	0.003

有 1 例为 2 分,是 3.0T 上检查的腹水患者(图 2)。观察者 1 认为 IFIR-FIESTA 组成像总体评分与 LAVA 组无显著差异(Wilcoxon 检验, $P>0.05$),观察者 2 认为前者评分优于后者($P<0.05$)。

经 Wilcoxon 检验,观察者 1 对肾静脉伪影及肾动脉分支评分,IFIR-FIESTA 组分别为 4.8 分和 2.5 分,显著高于 LAVA 组的 3.4 分和 1.6 分;观察者 2 上述评分分别为 IFIR-FIESTA 组 4.9 分和 2.6 分,也高于 LAVA 组的 3.5 分和 1.7 分(表 2)。

副肾动脉的检出:6 例共检出 6 支副肾动脉,其中 1 支 LAVA 显示欠佳,IFIR-FIESTA 显示清晰(图 3)。其余 5 支两种技术均能显示。肾动脉狭窄:LAVA 共检出 4 例 5 支肾动脉狭窄(1 例为双侧,图 2),IFIR-FIESTA 均同时检出。1 例右侧肾癌并左肾静脉瘤栓,IFIR-FIESTA 上显示左肾动脉轻度狭窄($<50\%$),而 LAVA 上仅略示狭窄(图 4)。

讨 论

目前临床上 MR 肾动脉成像大多采用 CE-MRA 技术,诊断肾动脉狭窄($>50\%$)的敏感度为 97%,特异度为 93%,阳性预测值为 87%,阴性预测值为 98%^[12]。CE-MRA 已经成为可疑肾动脉狭窄的首选检查手段,临床上得到越来越多的应用^[13]。研究表明 LAVA 扫描获取的图像在信噪比和对比噪声比方面

均同 CE-MRA 相仿^[9],本研究使用薄层 LAVA,从而使其空间分辨力达到 $0.8\text{ mm}\times 0.8\text{ mm}\times 1.1\text{ mm}$,以此图像作为 IFIR-FIESTA 的对照组。

MRI 诊断肾动脉狭窄必须满足:①肾动脉足够的信噪比和同周围组织的对比噪声比;②足够高的时间分辨力,在对比剂高峰时扫描,以减少静脉影的干扰;③足够高的空间分辨力,空间分辨力越高,图像越可靠^[2,3,11],文献报道 3.0T MR 机上最高的 Z 轴分辨力已达 1 mm 以内,从而使其像素大小达到各向同性的要求^[2],但大部分文献报道的 Z 轴分辨力为 $1.5\sim 2.8\text{ mm}$ ^[11,14]。本研究中 IFIR-FIESTA 和 LAVA 图像的空间分辨力分别达到 $0.7\text{ mm}\times 0.6\text{ mm}\times 1.0\text{ mm}$ 和 $0.8\text{ mm}\times 0.8\text{ mm}\times 1.1\text{ mm}$,几乎达到各项同性,利于细小血管分支的显示。

IFIR-FIESTA 的扫描序列实质上是呼吸触发的具有选择性翻转准备和选频翻转脂肪抑制的三维稳态自由进动序列。在 IFIR 肾动脉成像过程中,由呼吸 R 波触发的选择性翻转准备脉冲 180° 翻转激励厚度为 30 cm 的轴面区域,其中包括三维自由稳态进动扫描的成像区域以及成像区域下方的部分区域。受此选择性翻转脉冲的影响,三维成像区域的组织以及三维成像区域下方准备流入的静脉血被翻转。经过血流抑制翻转时间之后,随着成像区域内动脉血的流出,成像时刻成像区域内的动脉血为上方流入的未被翻转准备的

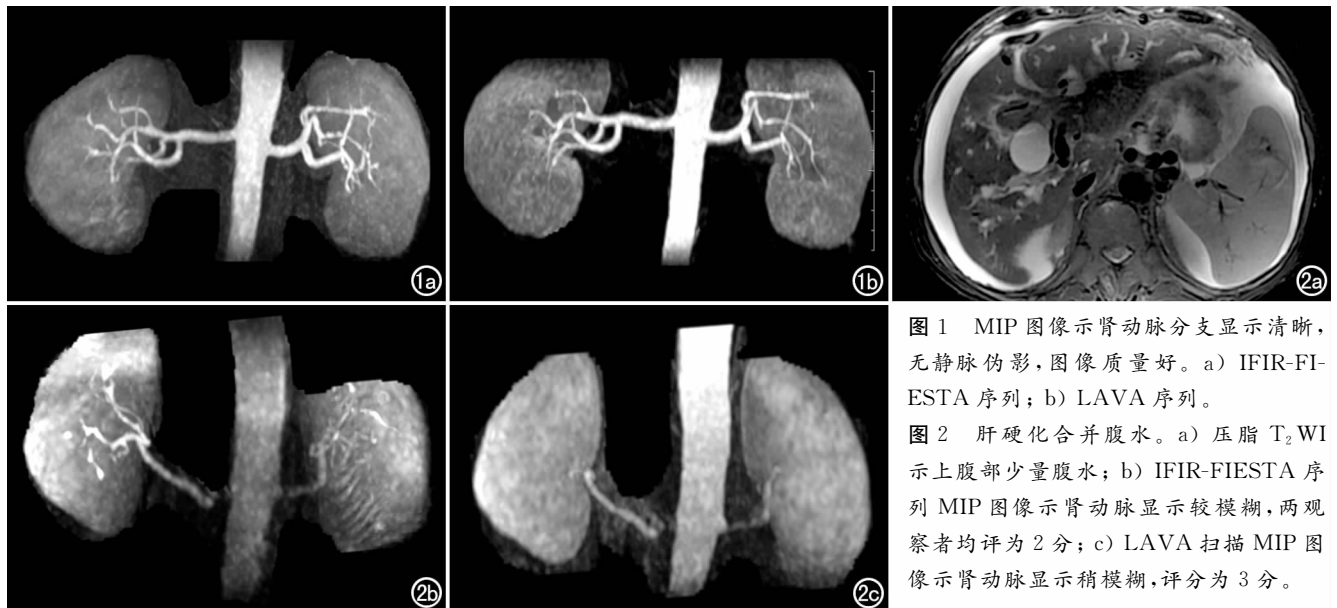


图 1 MIP 图像示肾动脉分支显示清晰,无静脉伪影,图像质量好。a) IFIR-FIESTA 序列; b) LAVA 序列。

图 2 肝硬化合并腹水。a) 压脂 T_2 WI 示上腹部少量腹水; b) IFIR-FIESTA 序列 MIP 图像示肾动脉显示较模糊,两观察者均评为 2 分; c) LAVA 扫描 MIP 图像示肾动脉显示稍模糊,评分为 3 分。

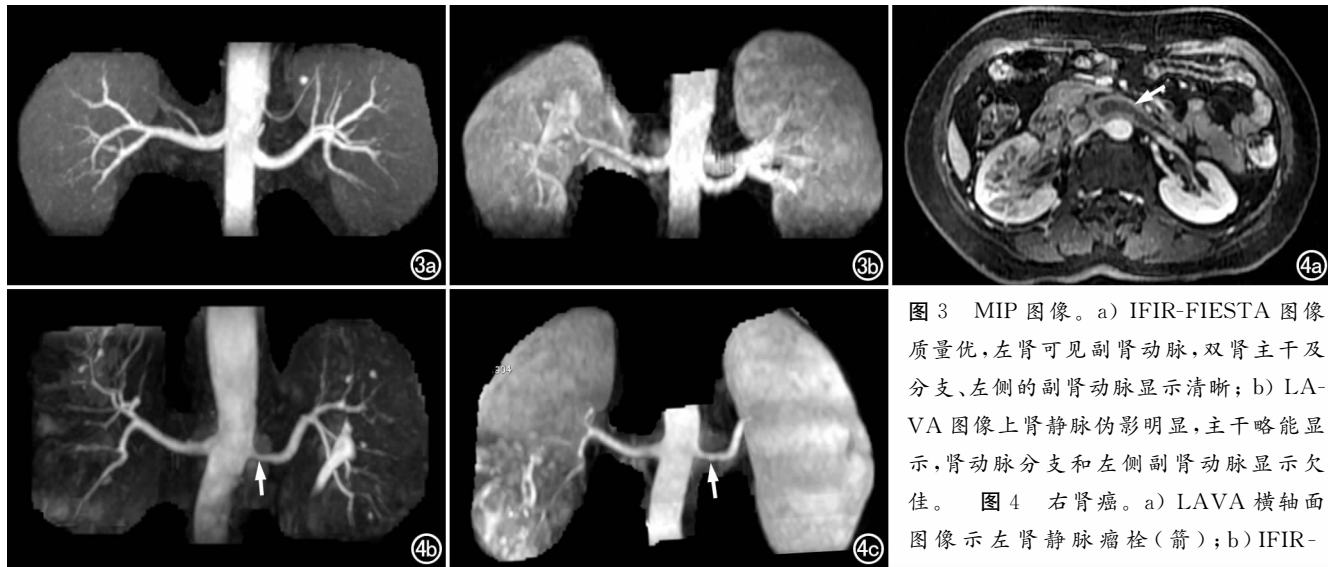


图 3 MIP 图像。a) IFIR-FIESTA 图像质量优,左肾可见副肾动脉,双肾主干及分支、左侧的副肾动脉显示清晰;b) LAVA 图像上肾静脉伪影明显,主干略能显示,肾动脉分支和左侧副肾动脉显示欠佳。图 4 右肾癌。a) LAVA 横轴面图像示左肾静脉瘤栓(箭);b) IFIR-

FIESTA 序列 MIP 图像示左肾动脉轻度狭窄(箭),左肾盂显影,图像质量好,无静脉伪影,肾动脉分支显示清晰;c) LAVA 序列 MIP 图像示左肾动脉略狭窄(箭)。

新鲜血液;而流入成像区域的静脉血则由于经历了选择性翻转准备,在成像时刻被抑制。由于脂肪在自由稳态进动序列中也表现为典型的高信号,因此为了更好的显示动脉,使用选频翻转对脂肪信号进行抑制。此序列依赖流入效应成像。

本研究中 IFIR-FIESTA 肾动脉成像的特点是空间分辨率高,肾静脉伪影少,图像质量可与 CE-MRA 相当或略高于后者。而且两观察者一致认为显示的肾动脉分支多于 LAVA 方式。对肾静脉伪影 IFIR-FIESTA 组两观察者的一致性为 0.33,分析原因是因为肾静脉伪影评分两观察者均评为 4 分或 5 分,虽然仅有 3 例(均为 3.0T)两者评价不一致,其 Kappa 值仍然较低。我们认为 IFIR-FIESTA 的肾静脉伪影明显低于 LAVA 组,评分也高于文献报道和笔者之前的 CE-MRA 研究^[9,11]。

本组对照组虽然为 LAVA 扫描,但根据我们的经验,肾动脉 CE-MRA 对肾内动脉的分支,亦即 2 到 3 级的分支往往无法清晰显示,IFIR-FIESTA 却具备此能力,本组肾动脉分支评分 IFIR-FIESTA 组显著高于 LAVA 组。

副肾动脉的检出对 MRA 是一个挑战,它的检出可作为 MRA 成像能力的一个间接指标。本研究中两组检出 6 支副肾动脉,其中 LAVA 遗漏 1 支,而 IFIR-FIESTA 全部检出。IFIR-FIESTA 能够检出 LAVA 检出的所有的狭窄的肾动脉。但 1 例显示 IFIR-FIESTA 可能过高估计狭窄程度,笔者分析可能是狭窄的肾动脉处由于血流方式发生改变,导致局部信号丢

失,导致 MIP 图像上狭窄程度加重。但需更大样本量对照研究判断 IFIR-FIESTA 检出肾动脉狭窄的效能。一项小样本(7/20)、以 CE-MRA 为对照,使用导航稳态自由进行序列进行非对比剂增强肾动脉 MRA 的研究中,该技术的敏感度、特异度和阴性预测值分别为 100%、85%和 100%^[15],提示此方法作为筛查手段的可能性。

用 IFIR-FIESTA 替代 CE-MRA 进行肾动脉 MRA 成像的潜在优势:①无需注射含 Gd 对比剂,可避免与 Gd 相关的 NSF 的发生,对于肾功能不全的患者尤为重要;②无创性,且无需屏气,患者容易配合,尤其对儿童和老人及体弱者;③检查时间短,只有 3~5 min,检查成功率高,临床容易实施。

可能影响 IFIR-FIESTA 图像质量的因素:①血流抑制反转时间,活体的动脉和静脉血 T_1 时间相对长,尽管确切的数值取决于血细胞比容、氧合水平和温度,1.5T MR 上动脉血和静脉血的 T_1 时间广泛采用 1200 ms^[16]。笔者根据文献和自己预试验在 1.5 MR 上也选择 1200 ms。由于 T_1 时间随场强升高而升高,因此在 3.0T MR 上我们根据经验选择 1300 ms,但此固定参数可能并非最佳,需要进一步试验优化此参数;②由于场强升高使共振频率升高,因而 RF 波长变短。在人体波长可接近显示野,此时可出现驻波效应,形成电介质伪影,尤其对于胖人而言;本组 2 例腹水患者的 IFIR-FIESTA 图像质量降低。笔者认为除了与电介质伪影有关外,还与高传导组织(如腹水)在射频脉冲发射-接收过程中产生的电流引起的干扰有关。其发

生机制:快速变化的磁场,例如 RF 发射的快速切换,可产生循环电路。当这一现象发生在传导介质中,就可能形成环路。这一电流就像电磁体,与磁场变化方向相反,降低 RF 场的幅度,消散其能量。介质的传导性越强,其产生的相反电磁就越强,RF 场的强度就越低。共同作用的结果是腹部产生信号丢失,IFIR-FIESTA 成像质量显著下降;③本组中共有 11 例 20 个肾盂显影,显示为肾盂不同程度的高信号,但并不影响对肾动脉的评价,部分肾盂显影的原因不明。

总之,使用 IFIR-FIESTA 的非对比剂肾动脉 MRA 成像成功率高,检查时间短,临床上可行的,腹水可能会影响成像质量。需进一步行大样本量的对照试验,来分析其诊断肾动脉狭窄的效能以及作为筛查手段的可能性。

参考文献:

- [1] Vasbinder GB, Nelemans PJ, Kessels AG, et al. Diagnostic Tests for Renal Artery Stenosis in Patients Suspected of Having Renovascular Hypertension: A Meta-analysis[J]. Ann Intern Med, 2001, 135(6):401-411.
- [2] Fain SB, King BF, Breen JF, et al. High-Spatial-Resolution Contrast-enhanced MR Angiography of the Renal Arteries: A Prospective Comparison with Digital Subtraction Angiography[J]. Radiology, 2001, 218(2):481-490.
- [3] Schoenberg SO, Rieger J, Weber CH, et al. High-Spatial-Resolution MR Angiography of Renal Arteries with Integrated Parallel Acquisitions: Comparison with Digital Subtraction Angiography and US[J]. Radiology, 2005, 235(2):687-698.
- [4] Shiragami K, Fujii Z, Sakumura T, et al. Effect of a Contrast Agent on Long-term Renal Function and the Efficacy of Prophylactic Hemodiafiltration[J]. Circ J, 2008, 72(3):427-433.
- [5] Marckmann P, Skov L, Rossen K, et al. Nephrogenic Systemic Fibrosis: Suspected Causative Role of Gadodiamide Used for Contrast-enhanced Magnetic Resonance Imaging[J]. J Am Soc Nephrol, 2006, 17(9):2359-2362.
- [6] Mendoza FA, Artlett CM, Sandorfi N, et al. Description of 12 Ca-

- ses of Nephrogenic Fibrosing Dermopathy and Review of the Literature[J]. Semin Arthritis Rheum, 2006, 35(4):238-249.
- [7] Wytttenbach R, Bragheti A, Wyss M, et al. Renal Artery Assessment with Nonenhanced Steady-state Free Precession Versus Contrast-enhanced MR Angiography[J]. Radiology, 2007, 245(1):186-195.
- [8] Stafford RB, Sabati M, Mahallati H, et al. 3D Non-contrast Enhanced MR Angiography with Balanced Steady-state Free Precession Dixon Method[J]. Magn Reson Med, 2008, 59(2):430-433.
- [9] 杨学东, 王霄英, 许玉峰, 等. 3.0T MR 上 LAVA 肾动脉成像的初步研究:与 CEMRA 对照[J]. 中国医学影像技术, 2007, 23(9):1392-1396.
- [10] Danias PG, McConnel MV, Khasgiwala VC, et al. Prospective Navigator Correction of Image Position for Coronary MR Angiography[J]. Radiology, 1997, 203(3):733-736.
- [11] Wilman AH, Riederer SJ, King BF. Fluoroscopically Triggered Contrast-enhanced Three-dimensional MR Angiography with Elliptical Centric View Order: Application to the Renal Arteries[J]. Radiology, 1997, 205(1):137-146.
- [12] Tan KT, van Beek EJ, Brown PW, et al. Magnetic Resonance Angiography for the Diagnosis of Renal Artery Stenosis: a Meta-analysis[J]. Clin Radiol, 2002, 57(7):617-624.
- [13] Kramer U, Nael K, Laub G, et al. High-Resolution Magnetic Resonance Angiography of the Renal Arteries Using Parallel Imaging Acquisition Techniques at 3.0T[J]. Investigative Radiology, 2006, 41(2):125-132.
- [14] Kramer U, Wiskirchen J, Fenchel MC, et al. Isotropic High-Spatial-Resolution Contrast-enhanced 3.0T MR Angiography in Patients Suspected of Having Renal Artery Stenosis[J]. Radiology, 2008, 247(1):228-240.
- [15] Maki JH, Wilson GJ, Eubank WB, et al. Steady-State Free Precession MRA of the Renal Arteries: Breath-hold and Navigator-Gated Techniques vs. CE-MRA[J]. J Magn Reson Imaging, 2007, 26(4):966-973.
- [16] Miyazaki M, Lee VS. Nonenhanced MR Angiography[J]. Radiology, 2008, 248(1):20-43.

(收稿日期:2009-05-05)