

• 实验研究 •

用自制线圈对大鼠单侧输尿管梗阻行磁共振成像的可行性研究

朱宝玉, 杨学东, 谷会东, 曹菊, 王霄英, 李晓玫, 许玉峰, 蒋学祥

【摘要】 目的:探讨用自制 3 in 表面线圈在 3.0T MR 上进行大鼠肾积水成像的可行性。方法:5 只 Wistar 大鼠制备单侧输尿管梗阻模型,于第 5 天和第 10 天分别行 T_1 WI、 T_2 WI,扩散加权(DWI)和 MR 尿路造影(MRU)检查。使用 GE 3.0T MR 扫描仪,3 英寸自制表面线圈。两名医师分别独立评价各序列图像质量,一名医师测量两次扫描梗阻侧肾实质厚度和肾盂宽度。结果:两观察者均认为 T_1 WI 和 T_2 WI 有 10/10 图像质量为“好”, T_1 WI 中“优”分别为 7/10 和 6/10; T_2 WI 中“优”分别为 8/10 和 7/10;两观察者均认为 DWI 有 8/10 达到“好”,3/10 达“优”;MRU 中“优”分别为 6/10 和 5/10。第 5 天到第 10 天梗阻侧肾积水程度显著加重($P < 0.05$)。结论:自制的三英寸线圈在 3.0T MR 上进行肾积水大鼠模型常规 T_1 WI、 T_2 WI 和 DWI 成像能够获得较满意的图像,满足大鼠肾积水实验对积水程度观测的需求。

【关键词】 磁共振成像;输尿管梗阻;动物实验

【中图分类号】 R693.13; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2009)01-0007-04

Feasibility of Using Self-made Surface Coil in the MRI of Unilateral Ureteral Obstruction of Rat ZHU Bao-yu, YANG Xue-dong, GU Hui-dong, et al. Department of Radiology, Peking University First Hospital, Functional Imaging Center, Advanced academy of Interdisciplinary Sciences, Peking University, Beijing 100034, P. R. China

【Abstract】 Objective: To investigate the feasibility of MR imaging using self-made 3 inch-surface coil with a 3T MR scanner in studying hydronephrosis of rat. **Methods:** Unilateral ureteral obstruction (UUO) was made in 5 Wistar rats. The pulse sequences including T_1 WI, T_2 WI, diffusion weighted imaging (DWI) and MR urography (MRU) were performed on day 5 and day 10. A GE 3.0T MR scanner and a self-made 3 inch-surface coil were used. The image quality was evaluated by two radiologists independently. The renal parenchyma thickness and the width of the renal pelvis in the obstructed kidney were measured by one of the radiologist. **Results:** Both T_1 WI and T_2 WI were scored "good" in 10/10 rats by the two observers. 7/10 and 6/10 rats on T_1 WI and 8/10 and 7/10 rats on T_2 WI, the scores were "excellent" respectively. 8/10 were scored "good" and 3/10 were scored "excellent" on DWI. As for MRU, 6/10 and 5/10 were scored "excellent". The degree of hydronephrosis aggravated markedly from day 5 to day 10 ($P < 0.05$). **Conclusion:** Satisfactory T_1 WI, T_2 WI, DWI and MRU could be obtained in UUO rat models using this self-made 3 inch-surface coil with a 3T MR scanner in our experiment to study the degree of hydronephrosis.

【Key words】 Magnetic resonance imaging; Ureteral obstruction; Animal experiment

高场强磁共振扫描仪的优势是图像信噪比(SNR)和空间分辨力更高。对于腹部脏器的高场 MR 扫描,由于受到磁场不均匀性、呼吸等运动伪影的影响,对线圈、扫描序列等提出更高的要求。随着 3.0T MR 的广泛临床应用,用其进行肾脏病变的研究报道也越来越多^[1-3]。本研究旨在探讨用自制 3 in 表面线圈在 3.0T MR 上进行大鼠肾积水动物模型成像的可行性。

材料与方 法

1. 3 in 线圈制备

线圈采用自身发射接收的方式。图 1 为线圈电路示意图。Ct 和 Cm 分别为调谐(tuning)和匹配(matching)电容,C1、C2、C3 和 Ct 使线圈共振频率为 127.72 MHz,Cm 使线圈为 50 ohm 匹配,并通过

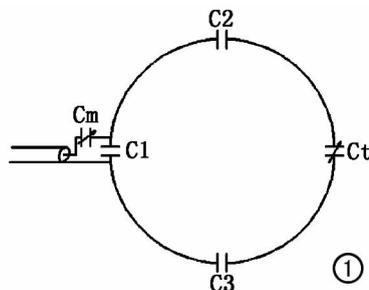


图 1 线圈电路示意图。Ct 和 Cm 分别为调谐(tuning)和匹配(matching)电容,C1、C2、C3 为无磁电容。

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(朱宝玉、杨学东、王霄英、许玉峰、蒋学祥);100176 北京,GE 公司磁共振产品技术部(谷会东);北京大学第一医院肾内科、北京大学肾脏病研究所卫生部肾脏疾病重点实验室(曹菊、李晓玫)

作者简介:朱宝玉(1965-),男,北京人,技师,主要从事 MR 技术工作。

通讯作者:王霄英,E-mail:cjr.wangxiaoying@vip.163.com

50 ohm 的同轴电缆(coaxial cable)使线圈与 MR 扫描仪相连。

2. 动物模型制作

共 5 只雄性 Wistar 大鼠(购自中国医学科学院实验动物研究所),结扎大鼠右侧输尿管,制备单侧输尿管梗阻(unilateral ureteral obstruction, UUO)模型^[4]。

3. MRI 设备及序列

使用 GE Signa Exite 3.0T MR 扫描仪。于肾积水模型制作后的第 5 天和第 10 天进行 MRI 检查,最后一天检查后立即处死。为减少肠气的影响,扫描前禁食 24 h,不限制饮水。2%戊巴比妥钠 2 ml/kg 腹腔注射麻醉。大鼠取仰卧位,摆位时先用手触摸一下双肾的位置确定大鼠扫描范围然后四肢固定,以保证扫描的中心位于线圈的中心。扫描序列包括常规的 T₁WI、T₂WI、MR 尿路成像(MRU)以及扩散加权成像(DWI)。快速扰相梯度回波序列(FSPGR) T₁WI: TR 200 ms, TE 3.1 ms, 翻转角 70°, 带宽 31.3 kHz, 矩阵 192×160, 激励次数 4; FSE T₂WI: TR 2800 ms, TE 108.1 ms, 翻转角 180°, 带宽 41.7 kHz, 矩阵 224×192, 激励次数 8; 单激发快速自选回波(SSFSE) MRU: TR 6000 ms, TE 1102.5 ms, 带宽 83.3 kHz, 矩阵 320×256, 激励次数 0.5; 平面回波(SE-EPI) DWI: TR 2000 ms, TE 66.3 ms, 带宽 125 kHz, 矩阵 64×64, 激励次数 8, DWI 中扩散梯度因子(b)值为 0 和 500 s/mm² 在 X、Y、Z 轴三方向施加扩散梯度。所有 T₁WI、T₂WI、DWI 均为轴面扫描。视野 8 cm×6 cm。层厚 3 mm, 间隔 0 mm。

4. 图像评价

所有对图像的评价及测量均在 AW 4.2 工作站上完成。两名有经验的放射医师对两次扫描共 10 只大鼠的各序列图像质量分别进行评价。根据图像有无伪影、变形,能否分辨肾内结构等将图像质量分为差、好、优三级。差:明显伪影、变形,不能分辨肾内结构;好:有轻度伪影或变形,能够分辨肾内结构;优:无伪影和变形,能够分辨肾内结构。

两名医师共同对肾积水模型成功与否及积水侧异常信号进行观察并记录,意见不一致时协商达成一致。由一名医师测量梗阻侧肾门水平肾实质厚度和肾盂前后宽度。

5. 统计学分析

使用 SPSS 13.0 和 MedCalc 软件进行统计学分析。两观察者间图像质量评分采取 Kappa 分析,判断其一致性。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。

对两次检查梗阻侧肾实质厚度和肾盂前后宽度进行配对 *t* 检验。*P* < 0.05 为有统计学意义。

结 果

1. 图像质量评价

所有大鼠均顺利完成各序列扫描。两组扫描各序列均为 10 幅图像参与评价,两观察者均认为 T₁WI 有 10/10 为“好”以上(其中“优”分别为 7/10 和 6/10), Kappa 值 0.78, *P* = 0.01; 也均认为 T₂WI 全部达到“好”(其中“优”分别为 8/10 和 7/10), Kappa 值 0.74, *P* = 0.02; 两观察者均认为 DWI 8/10 达到“好”以上,其中两人均认为有 3/10 达“优”, Kappa 值 0.68, *P* < 0.01; 两观察者均认为 MRU 有 10/10 为“好”以上(其中“优”分别为 6/10 和 5/10), Kappa 值 0.80, *P* = 0.01。

2. 肾积水模型及异常信号评价

所有大鼠均成功建立肾积水模型,表现为肾实质明显变薄,皮髓质分界不清,肾盂显著扩张。MRU 可清晰显示扩张的肾盂及上段输尿管。均在处死后的标本上得到证实。5 只大鼠第 5 天的扫描中肾盂内均表现为均匀的长 T₁ 长 T₂ 液体信号(图 2)。第 10 天扫描中,5 号大鼠肾盂内高信号的积水中可见片状略低信号,此略低信号在 DWI 上信号明显增高,术后证实为肾盂内脓肿(图 3)。从第 5 天到第 10 天,肾实质的厚度均进行性降低,从平均(2.7 ± 0.79) mm 到(1.42 ± 1.00) mm, *P* = 0.009; 而肾盂前后宽度均增高,从(11.5 ± 2.20) mm 到(15.26 ± 2.73) mm, *P* = 0.005(图 4)。

讨 论

上尿路梗阻引起的肾积水、萎缩是临床常见疾病。由于某种原因引起上尿路梗阻,导致尿液排出受阻,肾盂及肾小管压力增高,肾盂等集合系统扩张,肾间质水肿,局灶性炎症细胞浸润,最终可导致肾间质纤维化及肾萎缩。但目前对于肾积水时的血流动力学及细胞损伤确切机制尚不完全明确^[5]。MRI 作为近年来发展速度较快的无创性检查方法,除了能够提供形态学信息,在肾脏水分子扩散、血流动力学及血氧水平等方面显示了巨大的优势^[1-3,6,7]。在大鼠肾积水模型方面应用 MRI 方法进行相关机制研究的文献尚不多见。

MRI 对于大鼠模型进行肾积水成像的难点在于成像体积小,信号低。临床商用线圈以人体为检查对象,无法应用于实验动物。原因如下:图像的 SNR 与线圈的尺寸成一定的反比关系,线圈越大,邻近表面线

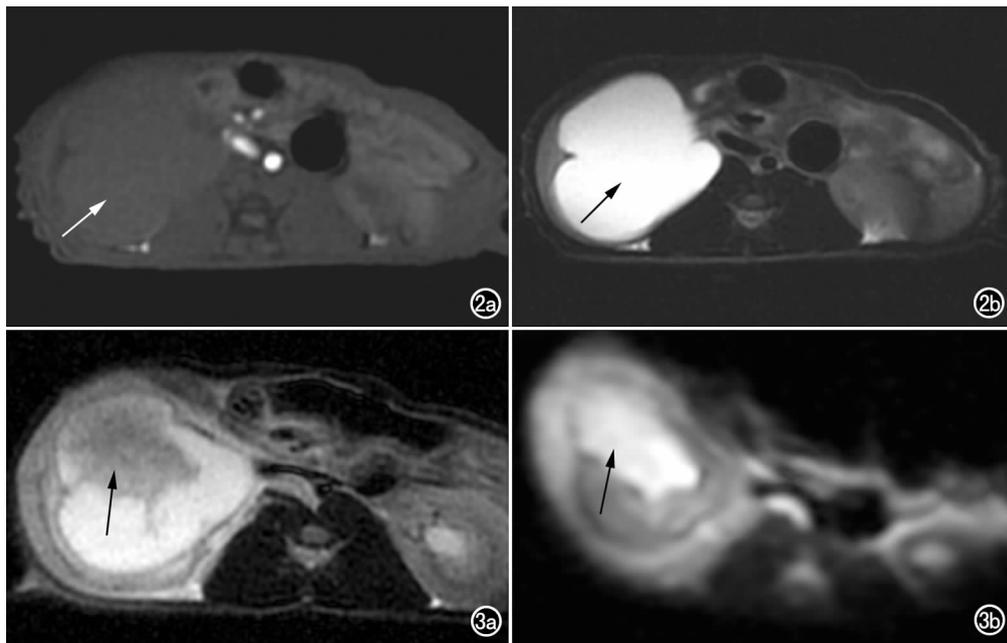


图2 大鼠肾盂积水模型。肾实质变薄,皮髓质无显著界限,肾盂及上段输尿管明显扩张。a) T_1 WI 示右肾积水呈均匀的长 T_1 信号(箭); b) T_2 WI 示右肾积水呈均匀的长 T_2 信号(箭); c) MRU 图像。图3 肾盂积水。a) T_2 WI 示扩张的肾盂内大片略低信号(箭); b) 同一层面 DWI, 可见图 3a 低信号区呈明显的高信号(箭)。

圈的 SNR 越低。临床型 MRI 线圈均为人体而设计, 因此对于体重仅有 200 g 左右的大鼠来说, 远远小于临床型线圈成像部分。进行动物成像, 必须具有较高的空间分辨力, 即在小视野和高的频率、相位编码矩阵下, 获得较小的像素。因此, 线圈的尺寸要符合动物成像的解剖结构要求。临床用线圈无法满足此要求, 需要专门的小尺寸动物专用表面线圈。前期研究已经证实本研究用的线圈提供的图像信号均匀性好, 双侧肾脏皮髓质信噪比对称^[2], 提示双侧肾脏所得数据可互为参照。另外, 所用序列参数均为人体肾脏相应成像序列上略加修改(主要是视野, 层厚, 激励次数等), 无需专门编写序列, 从而使线圈应用更具实用性。本研究线圈配合所用序列, 常规 T_2 WI 层面内分辨力可达 $0.4 \text{ mm} \times 0.3 \text{ mm}$, 能够满足空间分辨力的要求。

常规 T_1 WI 和 T_2 WI 上图像质量评分均高, 两观

察者间的一致性为较好或好。能够清晰显示梗阻侧的肾实质变薄及肾盂扩张情况, 并能分辨正常肾脏的皮质、内髓及外髓。人体肾脏常规 T_1 WI 和 T_2 WI 成像均需屏气或呼吸门控来消除呼吸伪影。大鼠的呼吸频率较快, 约 80~110 次/分。本实验均未采取呼吸控制的措施, 图像中均无显著呼吸运动伪影。这与大鼠呼吸频率虽快, 但动度小有关。可在图像上方便的对肾实质厚度和肾盂扩张程度进行测量, 从而对梗阻程度作出检测。本组中大鼠输尿管梗阻第 5 天到第 10 天, 各大鼠均有不同程度的进展, 表现为肾实质进行性变薄, 而肾盂扩张, 变薄的肾实质使皮髓质无明显分界。

尿液 T_2 弛豫时间显著长于周围组织, MRU 利用重 T_2 加权, 突出显示尿液信号, 并通过最大信号强度投影(maximum intensity projection, MIP)法重建, 获得类似静脉肾盂造影(intravenous pyelography, IVP)

图像。对于肾积水程度的观察无 IVP 依赖肾功能和 X 线辐射的缺点, 已经证实是目前临床肾积水检查的最佳手段^[8,9]。大鼠 UUO 模型可见肾盂显著扩张呈球形, 由于无肾盏等结构, 同人类有所不同。另可清晰显示扩张的上段输尿管(图 2c)。

DWI 采用平面回波(EPI)序列, 对磁场均匀性要求高, 对磁敏感效应敏感。大鼠肠管内的气体导致的磁敏感效应对图像质量有一定的影响, 我们根据前期预实验

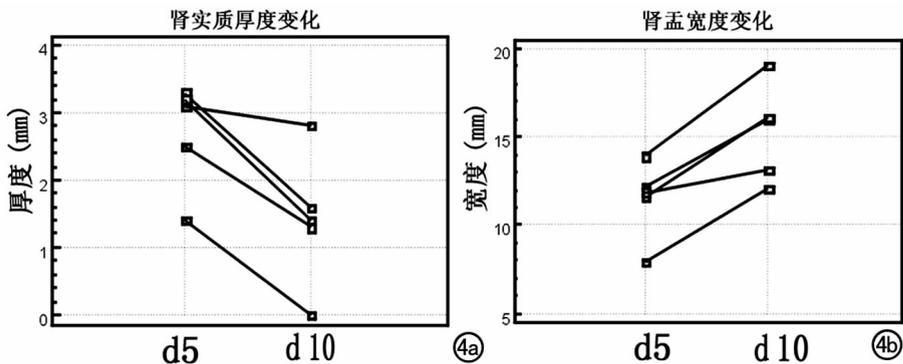


图4 肾脏和肾盂的变化。a) 梗阻侧肾脏实质 2 次检查的变化; b) 肾盂前后宽度的变化。注: d5 代表第 5 天, d10 代表第 10 天。其中一只大鼠在第 10 天时肾实质太薄, 无法测量, 记为 0 mm。

的经验,采取大鼠检查前一天晚上禁食的措施,以减少肠内气体。但部分图像仍变形。两观察者均认为 DWI 图像质量略低于 T_1WI 、 T_2WI 和 MRU。Kappa 值为 0.68,一致性较好。DWI 是目前反映活体水分子扩散情况的唯一方法。肾小管特殊的排列方式,以及肾小球滤过、肾小管分泌和重吸收等功能的特殊性,使得肾脏 DWI 成像引起了众多学者的兴趣。本实验第 5 天时梗阻侧肾皮髓质间已经无显著界限,无法分别测量皮髓质的 ADC 值,提示对于大鼠肾积水肾实质 ADC 值改变的研究应在更早期进行。

肾孟积水时肾盂内为尿液成分。而肾孟积脓则是肾盂内的脓性物质存留,常伴有肾实质的破坏和部分或全部肾功能受损。早期鉴别诊断对于及时处理肾孟积脓有重要的临床意义,对于孕期妇女尤为重要^[10]。常规 MRI 上两者均呈长 T_1 、长 T_2 信号,难以区分。DWI 可区分肾孟积水和积脓,肾积水时肾孟 ADC 值明显高于肾脏积脓。Chan 等^[10]报道的肾孟积脓的 ADC 值远低于积水。COVA 等^[11]也报道了类似的结果,肾孟积脓的平均 ADC 值为 $(0.96 \pm 0.09) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,积水的 $(3.7 \pm 0.08) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ($b = 500 \text{ s}/\text{mm}^2$)。本研究中使用 $b = 500 \text{ s}/\text{mm}^2$ 积脓的 ADC 值为 $1.44 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,同侧积水处的 ADC 值为 $2.88 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 。本例结果与文献报道的不同,可能与所用机器场强不同有关。但脓肿与积水在 DWI 上的信号和 ADC 值均有显著差异,与文献报道一致,积脓为高信号而积水为低信号(图 3)。积脓 ADC 值低的原因是脓性物质粘稠、增厚,含有较多的细胞而粘性增加,导致其扩散受限,ADC 值降低^[10]。

总之,我们认为用本研究中自制的三英寸线圈在 3.0T MR 上进行肾积水大鼠模型常规 T_1WI 、 T_2WI 和 DWI 成像能够获得较优的图像,满足大鼠肾积水实验对积水程度观测的需求。

(注:1 in=2.54 cm)

参考文献:

- [1] Li LP, Vu AT, Li BS, et al. Evaluation of Intrarenal Oxygenation by BOLD MRI at 3.0T[J]. J Magn Reson Imaging, 2004, 20(5): 901-914.
- [2] 杨学东,曹菊,王霄英,等. 3.0T 磁共振大鼠肾脏血氧水平依赖成像的初步研究[J]. 中国医学影像技术, 2007, 23(6): 809-811.
- [3] 杨学东,曹菊,王霄英,等. 大鼠发育对肾脏 MR 表观扩散系数影响的实验研究[J]. 中华放射学杂志, 2008, 42(4): 415-418.
- [4] Kaneto H, Morrissey J, Klahr S. Increased Expression of TGF- β 1 mRNA in the Obstructed Kidney of Rats with Unilateral Ureteral Ligation[J]. Kidney International, 1993, 44(2): 313-321.
- [5] Klahr S. Urinary Tract Obstruction, in Diseases of the Kidney and Urinary Tract(7th ed)[M]. Edited by Schrier RW, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2001. 757-787.
- [6] Liu AS, Xie JX. Functional Evaluation of Normothermic Ischemia and Reperfusion Injury in Dog Kidney by Combining MR Diffusion-weighted Imaging and Gd-DTPA Enhanced First-pass Perfusion[J]. J Magn Reson Imaging, 2003, 17(6): 683-693.
- [7] Pedersen M, Dissing TH, Morkenborg J, et al. Validation of Quantitative BOLD MRI Measurements in Kidney: Application to Unilateral Ureteral Obstruction[J]. Kidney Int, 2005, 67(6): 2305-2312.
- [8] Riccabona M, Simbrunner J, Ring E, et al. Feasibility of MR Urography in Neonates and Infants with Anomalies of the Upper Urinary Tract[J]. Eur Radiol, 2002, 12(6): 1442-1450.
- [9] Leppert A, Nadalin S, Schirg E, et al. Impact of Magnetic Resonance Urography on Preoperative Diagnosis Workup in Children Affected by Hydronephrosis: Should IVU be Replaced[J]. J Pediatr Surg, 2002, 37(10): 1441-1445.
- [10] Chan JH, Tsui EY, Luk SH, et al. MR Diffusion-weighted Imaging of Kidney: Differentiation between Hydronephrosis and Pyonephrosis[J]. J Clin Imaging, 2001, 25(2): 110-113.
- [11] Cova M, Squillaci E, Stacul F, et al. Diffusion-weighted MRI in the Evaluation of Renal Lesions: Preliminary Results[J]. Br J Radiol, 2004, 77(922): 851-857.

(收稿日期:2008-06-12)

《放射学实践》2008 年设立“实践杯”优秀论文奖

经编委会研究决定,《放射学实践》在原有“绿色通道”(国家及省部级科研基金产文等创新性优秀论文直接送终审,3 个月内优先发表)的基础上,为加大吸引优秀论文,特于 2008 年设立“实践杯”奖。每年杂志将用自有资金对全年《放射学实践》发表的论文进行评选一、二、三等奖。获奖作者除获得相应奖金和证书外,本刊还特别颁发“VIP 会员”证书,享有本刊 VIP 会员一系列优惠服务。

欢迎投稿! 欢迎订阅!

2008 年获得“实践杯”一、二、三等奖的作者及论文题录拟定于 2009 年第 2 期杂志公布,敬请关注!