

• 腹部影像学 •

肾动脉高分辨力三维增强磁共振血管成像术：
透视触发和并行采集技术使用初探

林江, 陈财忠, 李韧晨, 王建华, 严福华, 曾蒙苏, 沈继章, 周康荣

【摘要】 目的:评估透视触发和并行采集技术用于肾动脉高分辨力三维增强磁共振血管成像术的可行性和对肾动脉的显影诊断效果。**方法:**90 例临床诊断或怀疑肾动脉或腹主动脉病变的患者行高分辨力肾动脉三维增强磁共振血管成像(3D CE MRA)。使用透视触发软件启动肾动脉 3D CE MRA 扫描,扫描采用 K 空间中心填充法和加速因子为 2 的并行采集技术。分析图像质量和病变显示情况,并与其它检查结果对照。**结果:**肾动脉 3D CE MRA 显示了 90 例患者共 810 支动脉段(100%显示率),平均显示等级为 3.88。3D CE MRA 显示 8 例 11 支副肾动脉,显示等级均为 4.0。肾动脉段级分支的显示率为 73%(66/90 例)。所有病例在动脉显示区静脉均未显影或显影很淡,平均等级为 0.20。3D CE MRA 发现 639 支动脉段正常;66 支动脉段管壁不规则;55 支动脉段轻度狭窄;37 支动脉段严重狭窄;2 支动脉段闭塞;11 支动脉段动脉瘤形成。其中 96 支肾动脉存在狭窄,11 支副肾动脉均正常。共有 43 例病例,肾动脉 3D CE MRA 与其它血管成像技术作了比较,3D CE MRA 的检查结果与之完全符合。**结论:**透视触发并行采集肾动脉高分辨力 3D CE MRA 简单可行,成像时间短,空间分辨率高,能清楚显示肾动脉且无静脉污染。

【关键词】 磁共振血管成像; 肾动脉狭窄; 图像处理, 计算机辅助

【中图分类号】R445.2 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1000-0313(2006)03-0266-05

High-Resolution 3D Contrast-Enhanced MR Angiography of the Renal Arteries with Fluoroscopic Triggering and Parallel Acquisition Techniques: Preliminary Experience LIN Jiang, CHEN Cai-zhong, LI Ren-chen, et al. Department of Radiology, Zhongshan Hospital, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the feasibility and diagnostic capability of renal arteriography using high resolution 3D contrast enhanced MR angiography with fluoroscopic triggering and parallel acquisition techniques. **Methods:** Ninety patients with clinically diagnosed or suspected renal artery or abdominal artery diseases underwent high-resolution 3D contrast-enhanced MR renal arteriography (3D CE MRA). Fluoroscopic triggering technique was used to trigger 3D CE MRA of the renal arteries. The techniques, including elliptical centric view order for filling the k space and parallel acquisition technique with an acceleration factor of 2, were used in 3D CE MRA. The overall image quality and demonstration of vascular pathology were studied. 3D CE MRA findings were also compared with those acquired by other imaging modalities if available. **Results:** 3D CE MRA identified all 810 arterial segments in all subjects (100%) with a mean visibility score of 3.88. 3D CE MRA additionally showed 11 accessory renal arteries in 8 patients. The depiction rate of segmental renal arteries was 73% (66/90). Venous contamination was rated as none or minimal, with a mean score of 0.20. The results showed 639 normal arterial segments and 171 pathological arterial segments, the latter including 66 segments with irregularity; 55 segments with mild stenosis; 37 segments with significant stenosis; 2 segments with occlusion and 11 segments with aneurysms. 3D CE MRA identified stenosis involving 96 renal arteries. All accessory renal arteries were normal. On the arteriograms acquired with other imaging techniques of the 43 available cases, the vascular pathological findings were all consistent with those shown on 3D CE MRA arteriograms. **Conclusion:** High resolution 3D CE MRA of the renal arteries with fluoroscopic triggering and parallel acquisition techniques was feasible and easy to manage. Potentials, including reduction of scanning time, improvement of spatial resolution as well as clear and optimal depiction of renal arteries without venous contamination could be provided by this 3D CE MRA technique.

【Key words】 MR angiography; Renal artery obstruction; Image processing, computer-assisted

动脉粥样硬化常累及肾动脉,导致肾动脉狭窄,继

而引起高血压、肾灌注减少和肾功能减退。目前选择性肾动脉 DSA 是显示肾动脉狭窄的金标准,但它是创伤性检查技术,有一定并发症,所使用的大剂量含碘对比剂存在诱发或加重肾功能衰竭的危险^[1]。近年来无

创性血管成像术包括多普勒超声(US)、螺旋 CT 血管成像(CTA)和磁共振血管成像(MRA)已广泛用于临床。大量文献报道三维增强磁共振血管成像术(three-dimensional contrast-enhanced MRA, 3D CE MRA)可较好显示肾动脉狭窄^[2-10]。为了捕捉到肾动脉显影最佳时相并减少静脉重叠,准确把握扫描开始时间和缩短成像时间是完成肾动脉 3D CE MRA 的成败关键。本文采用对比剂智能追踪软件(CareBolus)实时监测对比剂到达靶血管的时间,触发启动肾动脉 3D CE MRA 扫描;同时使用最新并行采集技术缩短成像时间,提高空间分辨力,行高分辨扫描。笔者检索文献(至 2005 年 7 月)后发现,目前国内外尚无同时使用这两项技术完成肾动脉高分辨力 3D CE MRA 的报道。我们的目的是初步评价这一 MRA 新技术显示肾动脉病变的可行性、图像质量和显示效果。

材料与方法

1. 病例资料

共有 90 例患者行肾动脉 3D CE MRA 检查,其中临床诊断或怀疑肾动脉狭窄者 78 例,腹主动脉瘤 7 例,多发性大动脉炎 2 例,髂动脉狭窄或闭塞 3 例。男性 63 例,女性 27 例,年龄 19~84 岁,平均 68 岁。所有检查均征得患者同意。

2. MRI 成像技术

1.5T 磁共振成像仪(Magnetom Avanto, Siemens AG, Erlangen, Germany),梯度场强 45 mT/m,切换率 200 mT/m/s。信号采集采用腹部和脊柱联合表面线圈,这些表面线圈又由 12 个小线圈单元构成,同时最高可使用 32 个接收通道接受信号。多通道和多线圈组合在硬件上保证了沿 3 个梯度编码方向能做加速因子为 2 的并行采集。

首先行腹部常规定位和肾动脉血管定位扫描,然后在定位片上确定相应的 3D CE MRA 的扫描范围。使用二维超快速小角度激励(2D turbo fast low angle shot, 2D turbo FLASH)快速扫描法(CareBolus, 又称 MR 透视触发法)于注射对比剂同时实时监测对比剂到达胸降主动脉的时间,扫描参数:TR 41.6 ms, TE 1.0 ms, 反转回复时间 30 ms, 反转角度 30°, 层厚 70 mm, 矩阵 166×256, 视野 40 cm×40 cm, 约 1 秒 1 层,在胸降主动脉水平可连续扫描 40 层,当对比剂到达胸降主动脉时启动肾动脉 3D CE MRA 的扫描,启动时间约为 3~4 s。

3D CE MRA 采用抑脂扫描,在增强前行平扫 1 次以确定扫描范围是否准确,增强后重复扫描 2 次,增

强后第 1 回合扫描采用 K 空间中心填充法,即首先填充 K 空间中心以减轻静脉重叠。3D CE MRA 扫描取冠状面或倾斜冠状面,覆盖腹主动脉中下段至髂总动脉分叉,扫描序列为 3D FLASH,扫描参数:TR 2.8 ms, TE 1.2 ms, 反转角 15°, FOV 390 mm×390 mm, 矩阵 307×512, 层数 72~88, 层厚 1.2~1.5 mm, 分辨力达到 1.3 ms×0.8 ms×(1.2~1.5) mm。使用并行采集技术,加速因子为 2;扫描时间 17 秒。采用屏气扫描以减轻运动伪影。

所用对比剂为磁显葡胺(Magnevist, Schering AG, Berlin, Germany)剂量 0.2 mmol/kg。从肘前静脉用压力注射器(MR Spectris; Medrad, Pittsburgh, PA, USA)注射,注射流率为 3.0 ml/s,对比剂注射完毕后从另 1 注射管用 20 ml 生理盐水以相同流率注入肘前静脉以减少对比剂在外周静脉的残留。

3. 图像分析

所有扫描的原始图像,在工作站上用最大强度投影法(maximum intensity projection, MIP)和多平面重组(multiplanar reconstruction, MPR)进行重建,部分病例加做容积再现(volume rendering, VR)。由 2 名有 MRA 读片经验的医师共同分析所有患者的图象质量和病变显示情况:①分析包括腹主动脉中下段、双侧肾动脉(主干)、双侧髂总动脉以及双侧髂内、外动脉近段等 9 段动脉的显影情况。根据血管显示清晰度、血管内信号是否均匀和有无伪影给上述动脉的显示质量评分,分为 1~4 等级。1 级为动脉未显示;2 级为显示不清或有伪影而无法诊断;3 级为显示较清楚,信号较均匀,无伪影;4 级为显示很清楚。3、4 级均能准确判断正常和病变血管;②观察有无副肾动脉,如有则另外计算,但分析方法同上;③分析肾动脉主干分出的段级分支的显示率;④根据动脉显示区有无静脉早期显影评分,分为 0~2 等级。0 级为无静脉显示,1 级为静脉显影很淡,不影响动脉诊断,2 级为静脉早期显影,严重影响动脉诊断;⑤分析动脉病变显示情况。动脉狭窄分成动脉管壁不规则(管腔狭窄<10%);轻度狭窄(<50%);严重狭窄(≥50%)和闭塞。有无腹主动脉瘤存在和累及范围。

90 例中,有 10 例行腹主动脉(包括肾动脉)DSA 造影,5 例行腹主动脉 CTA 检查,28 例行肾动脉超声检查。肾动脉 3D CE MRA 的显示结果与这些检查结果进行对照。

结 果

所有病例均顺利触发和完成肾动脉 3D CE MRA

检查,使用 CareBolus 软件能实时监测对比剂到达胸降主动脉的时间,该测定时间为 8~21 s,平均为 15 s。肾动脉 3D CE MRA 显示了 90 例患者总共 810 支动脉段(100%显示率),平均显示等级为 3.88(图 1)。3D CE MRA 显示 8 例 11 支副肾动脉,显示等级均为 4.0(图 2)。由肾动脉主干分出的段级分支的显示率为 73%(66/90 例)。所有病例在动脉显示区域内静脉均未显影或显影很淡,对诊断不构成影响,该平均等级为 0.20。

本文的结果表明,有 639 段动脉正常,66 段动脉管壁不规则,55 段动脉轻度狭窄,37 段严重狭窄(图 3、4),2 段闭塞,11 段动脉瘤形成(图 5)。其中 96 支肾动脉存在狭窄,11 支副肾动脉均正常。另外有 12 例患者,3D CE MRA 除了显示肾动脉狭窄以外,还发现合并腹主动脉和/或髂动脉狭窄。7 例 3D CE MRA 清楚显示腹主动脉瘤大小和范围,其中 2 例累及髂动脉,1 例合并肾动脉严重狭窄,其余肾动脉均正常。共有 43 例病例,肾动脉 3D CE MRA 与其它血管成像技术进行了比较,3D CE MRA 的检查结果与之完全符合。

讨 论

1. 3D CE MRA 的优势。

肾动脉狭窄的治疗方法有血管成形、放置内支架、外科搭桥及内科降脂溶栓等,选择治疗方案前必须了解肾动脉狭窄的程度和范围,目前临床上多使用无创性影像检查技术如 US、CTA 和常规非增强 MRA 作为术前筛选,但这些技术都有其各自缺陷。US 视野较小、有操作者依赖性;CTA 有电离辐射及须使用大剂量含碘对比剂、并且后处理复杂;常规时间飞跃法(TOF)和相位对比(PC)MRA 有血液流动伪影和运动伪影,易高估肾动脉狭窄程度而且成像时间长^[2,4]。3D CE MRA 目前已可作为肾动脉病变的主要筛选检查技术,它只须从外周静脉注射少量钆剂,明显缩短血液 T₁ 值,提高血流信号,基本上克服了常规 MRA 的血流伪影,提高了肾动脉狭窄的诊断准确性;也无电离辐射、无碘过敏之忧,所用对比剂安全性好、无肾毒性。而且扫描时间缩短、后处理简单、图象直观视野大、能同时显示腹主动脉和髂动脉,受到临床医师和患者的欢迎。

2. CareBolus、K 空间中心填充法和并行采集技术的原理

完成肾动脉 3D CE MRA 的关键是准确设定增强后扫描开始时间和提高空间分辨力。肾动脉狭窄多位于肾动脉主干处,而肾动脉主干尤其是左侧主干与肾



图 1 3D CE MRA 清楚显示双侧肾动脉主干和段级分支(箭头)。图 2 3D CE MRA 显示右侧副肾动脉(箭头)。图 3 3D CE MRA 显示双侧肾动脉起始部严重狭窄(箭头),右髂总动脉轻度狭窄(箭)和腹主动脉下段不规则,右侧为异位肾。图 4 3D CE MRA 显示右侧肾动脉前后段呈串珠状明显狭窄(箭头),符合纤维肌层发育不良。另见肾上腺囊肿(箭)。图 5 a) 3D CE MRA 显示腹主动脉下段动脉瘤(箭头),累及双侧髂总动脉(箭); b) DSA 检查与 3D CE MRA 相符合。

静脉解剖关系十分邻近,加上肾静脉回流很快,因此肾静脉过早和过度显影必然影响肾动脉病变的显示和分析。因此如何使肾动脉很好显示而肾静脉不显影是肾动脉 3D CE MRA 的关键问题,同时扫描开始时间还受到注射流率、个体差异和受检者心功能等多因素影响。多数文献采用注射小剂量对比剂做预试验测定靶血管强化峰值以确定 3D CE MRA 扫描开始时间,但此举增加了操作步骤、增加了对比剂用量、增加了扫描和分析时间,而且残留的对比剂可滞留于肾盂中干扰随后进行的 3D CE MRA 的显示^[3]。

CareBolos 透视触发技术是用 MRI 超快速扫描法实时监测对比剂到达降主动脉的时间,并自动或手动触发启动肾动脉 3D CE MRA 扫描。3D CE MRA 成像时,我们采用 K 空间中心填充法(k-space centric view order),即扫描开始时采集到的回波信号首先填充到决定图象对比的 K 空间的中心,随后采集的信号再填充 K 空间的周围区域,这样就保证了最先采集到的肾动脉增强达峰值时的信号正好填充在 K 空间中心区,因而肾动脉有很好的信号对比,同时又明显减轻了静脉信号。

另外在最新的多线圈多通道的硬件基础上我们使用了并行采集技术。并行采集技术是利用多个表面线圈中每个线圈单元所包含的空间信息,部分取代常规情况下由梯度场控制的空间编码次数,即增大了 K 空间内回波填充的间隔,以达到缩短扫描时间和/或增加空间分辨率的目的。最近 Hu 等^[11]的实验研究发现,结合使用 K 空间中心填充法和并行采集技术,K 空间的中心和周边的采样速度都加快,这样在行动脉检查时能有效抑制静脉信号,并且能在不增加扫描时间的前提下,提高空间分辨率。

3. 初步经验

本文的研究结果表明,所有 90 例病例使用 CareBolos 软件都能实时监测对比剂到达胸降主动脉的时间,并顺利启动和完成肾动脉 3D CE MRA 扫描。我们选择胸降主动脉而非腹主动脉作为观测血管,是因为从手动触发到正式启动扫描约有 3~4 s 的时间间隔,此时对比剂正好到达腹主动脉。肾动脉 3D CE MRA 对 90 例患者总共 810 支动脉段的显示率达到 100%,且动脉显示清楚质量好。所有病例在动脉显示区域内静脉均未显影或显影很淡,对诊断无影响。这充分说明联合使用 CareBolos 透视触发、K 空间中心填充法和并行采集技术不仅可行,而且可靠。

我们使用加速因子为 2 的并行采集,成像矩阵为 307×512 ,视野为 $390 \text{ mm} \times 390 \text{ mm}$,层厚 $1.2 \sim$

1.5 mm ;分辨力达到 $1.3 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm} \times (1.2 \sim 1.5) \text{ mm}$,实现高分辨力成像,该分辨力接近或优于多数最近的国内外文献报道^[6-8,10],而且扫描时间仅为 17 s,也短于文献报道^[6-10]。与常规 MRA 相比,3D CE MRA 虽可明显减轻血流伪影,但对严重狭窄仍存在高估现象^[4],我们认为,高分力成像能有效克服肾动脉严重狭窄处的信号丢失伪影,从而较好地避免了 3D CE MRA 过高估计动脉狭窄程度。本组显示了 37 段动脉严重狭窄,都未出现狭窄段明显信号丢失现象(图 3、4),我们认为这与采用高分辨力成像有关,当然也可能与我们的最新机型所提供的超短 TE(1.2 ms)能较好克服狭窄处相位失散有一定关系。

为了弥补并行采集和高分辨力成像会使血管的信号噪声比下降的缺陷,我们使用腹部和脊柱联合表面线圈,与体线圈相比,表面线圈能明显提高血管的信号噪声比。

另外由于动脉硬化可累及多支动脉,而且副肾动脉可起自髂总动脉,所以我们采用较大的视野,同时分析了腹主动脉和髂动脉等血管显示情况。结果表明,我们获得了满意的动脉显示效果。本组发现 66 段动脉管壁不规则,55 段动脉轻度狭窄,37 段严重狭窄,2 段闭塞,11 段动脉瘤形成。其中 96 支肾动脉存在狭窄,11 支副肾动脉均正常。7 例 3D CE MRA 清楚显示腹主动脉瘤大小、范围和与肾动脉的关系。12 例患者,3D CE MRA 除了显示肾动脉狭窄以外,还发现合并腹主动脉和/或髂动脉狭窄,这为全面和及时的临床治疗提供了帮助。有 43 例病例,肾动脉 3D CE MRA 与其它血管成像技术作了比较,3D CE MRA 的检查结果与之完全符合。根据最近文献^[5]报道,非并行采集法肾动脉 3D CE MRA 诊断肾动脉主干严重狭窄的敏感度和特异度均超过 90%,而最新的研究^[9]显示,使用并行采集技术行高分辨力成像后(但该研究并未使用对比剂智能追踪软件),其显示肾动脉狭窄的准确性进一步提高。目前在我院,透视触发并行采集高分辨力肾动脉 3D CE MRA 已经基本取代了创伤性 DSA,成为肾动脉内支架置放术、血管成形术和肾移植术前常规检查技术,大样本 3D CE MRA 和 DSA 的对照研究正在进行中。

4. 局限性分析

由动脉粥样硬化引起的肾动脉狭窄主要累及肾动脉开口和主干,但少数病例可累及肾动脉远端,而纤维肌层发育不良则多累及肾动脉远端^[2,4],所以显示段级肾动脉仍有较重要的临床价值。我们的研究发现,尽管与文献^[10]相比,高分辨力 3D CE MRA 对段级肾

动脉的显示率有所提高,但仍不满意。究其原因,主要是段级肾动脉太细,信噪比低,虽采用憋气扫描,但肾脏仍存在细微运动;肾实质明显强化也掩盖了肾内段级分支的显示。这些因素目前尚难完全克服,因此对高度怀疑肾动脉远端狭窄而 3D CE MRA 又显示不佳者,仍须做选择性肾动脉造影检查。

总之,我们的初步结果显示,透视触发并行采集肾动脉高分辨力 3D CE MRA 简单可行,成像时间短,空间分辨力高,视野大,能清楚显示肾动脉且基本没有静脉污染,它将在肾动脉狭窄的诊断中起重要作用。

参考文献:

- [1] Waugh JR, Sacharias N. Arteriographic Complications in DSA Era[J]. Radiology 1992, 182(3): 243-246.
- [2] Dong Q, Schoenberg SO, Carlos RC, et al. Diagnosis of Renal Vascular Disease with MR Angiography[J]. RadioGraphics 1999, 19(6): 1535-1554.
- [3] Schoenberg SO, Bock M, Knopp MV, et al. Renal Arteries: Optimization of Three-Dimensional Gadolinium-Enhanced MR Angiography with Bolus-Timing-Independent Fast Multiphase Acquisition in a Single Breath Hold[J]. Radiology 1999, 211(3): 667-679.
- [4] Leung DA, Hagspiel KD, Angle F, et al. MR Angiography of the Renal Arteries[J]. Radiol Clin N Am 2002, 40(4): 847-865.
- [5] Tan KT, van Beek EJ, Brown PW, et al. Magnetic Resonance Angiography for the Diagnosis of Renal Artery Stenosis: a Meta-A-

nalysiss[J]. Clin Radiol 2002, 57(7): 617-624.

- [6] Giessing M, Kroencke TJ, Taupitz M, et al. Gadolinium-Enhanced Three-Dimensional Magnetic Resonance Angiography Versus Conventional Digital Subtraction Angiography: which Modality is Superior in Evaluating Living Kidney Donors[J]. Transplantation 2003, 76(6): 1000-1002.
- [7] Fink C, Hallscheidt PJ, Hosch WP, et al. Preoperative Evaluation of Living Renal Donors: Value of Contrast-Enhanced 3D Magnetic Resonance Angiography and Comparison of Three Rendering Algorithms[J]. Eur Radiol 2003, 13(4): 794-801.
- [8] Willmann JK, Wildermuth S, Pfammatter T, et al. Aortoiliac and Renal Arteries: Prospective Intraindividual Comparison of Contrast-Enhanced Three-Dimensional MR Angiography and Multi-Detector Row CT Angiography[J]. Radiology 2003, 226(3): 798-811.
- [9] Schoenberg SO, Rieger J, Weber CH, et al. High-Spatial-Resolution MR Angiography of the Renal Arteries with Integrated Parallel Acquisitions: Comparison with Digital Subtraction Angiography and US[J]. Radiology, 2005, 235(2): 687-698.
- [10] 安宁豫, 刘新, 金光玮, 等. 三维心电门控屏气 MRA 诊断肾动脉狭窄[J]. 中国医学影像学杂志, 2005, 13(3): 179-183.
- [11] Hu HH, Madhuranthakam AJ, Kruger DG, et al. Improved Venous Suppression and Spatial Resolution with SENSE in Elliptical Centric 3D Contrast-Enhanced MR Angiography[J]. Magn Reson Med, 2004, 52(4): 761-765.

(收稿日期: 2005-09-06 修回日期: 2005-10-25)

《双语医学影像学》(英汉对照)出版

中南大学湘雅医学院肖恩华教授主编, 中国工程院院士、中南大学校长黄伯云教授作序, 华中科技大学同济医学院冯敢生教授、南方医科大学张雪林教授主审的《双语医学影像学》(英汉对照)已由中南大学出版社于 2005 年 8 月正式出版, 书号为 ISBN7-81105-091-9/R·008。该书为国内第一本医学影像学双语教材, 本书分总论、骨骼和肌肉系统、胸部、腹部、中枢神经系统和头颈部、介入放射学六大部分共十八章。第一篇为总论, 主要介绍 X 线、CT、MRI 等成像技术; 第二篇至第五篇为各系统的诊断, 主要介绍 X 线、CT、MRI 的检查方法、影像的观察与分析 and 常见疾病的影像表现; 第六篇为介入放射学, 介绍常用的、较成熟的血管性和非血管性介入治疗方法。该书是随着近年来我国医学影像学的快速发展与医学教学改革诞生的, 适应于医学影像学的双语教学。

该书为 16 开本, 定价 60 元。欲购者请与中南大学出版社发行部联系。

地址: 410083 中南大学出版社发行部

电话: 0731-8876770, 8836721

邮购: 0731-8830330 传真: 0731-8710482