

张艺, 邓力刚, 靳二虎, 等. 全下肢动脉磁共振血管成像技术的临床应用[J]. CT理论与应用研究, 2010, 19(3): 75-81.
Zhang Y, Deng LG, Jin EH, et al. Clinical application of MR angiography of whole lower extremity artery[J]. CT Theory and Applications, 2010, 19(3): 75-81.

全下肢动脉磁共振血管成像技术的临床应用

张艺, 邓力刚, 靳二虎[✉], 梁宇霆, 关伟

(首都医科大学附属北京友谊医院放射科, 北京 100050)

摘要: 目的: 探讨对比剂增强三维磁共振血管成像技术显示下肢动脉病变的价值。方法: 对43例有症状患者进行盆腔和全下肢动脉3D CE-MRA检查, 再利用后处理软件对原始图像进行减影、最大信号强度投影重组和三段对接, 获得不同角度的全下肢血管树结构。结果: 42例患者顺利完成检查和后处理编辑, 动脉血管显示清晰, 图像质量符合诊断要求, 检查成功率98%。1例因病情较重, 不能坚持平卧和静止不动, 未能完成检查。结论: 三维磁共振血管成像技术全下肢动脉血管成像可为临床诊断和处置周围动脉闭塞性疾病提供有用的影像信息。

关键词: 周围动脉闭塞性疾病; 下肢; 磁共振血管成像

文章编号: 1004-4140(2010)03-0075-07 **中图分类号:** R 445.2; R 322.12 **文献标识码:** A

随着人们生活水平的提高以及老龄化社会的到来, 身体中各种血管性疾病的发病率也在逐渐增高, 如糖尿病与高血压病后期引起的下肢动脉硬化、狭窄、闭塞等异常。这些疾病不仅造成病人身心痛苦, 降低生活质量, 还有可能使患者丧失自动活动能力, 被迫以轮椅为伴, 甚至不得已接受截肢治疗。为此, 以下肢动脉硬化和闭塞为代表的周围动脉闭塞性疾病(peripheral arterial occlusive diseases)近年来逐步引起医学界的关注。但是, 由于该病的病变范围较大, 病变部位多发, 加之下肢动脉的血管直径细小, 使得通过一般的影像检查显示和诊断该病困难较大。长期以来, 探索一种用于诊断周围动脉闭塞性疾病, 且安全、方便和快捷的影像方法, 成为广大医务工作者孜孜不倦的追求目标。

医学磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)是一种计算机辅助的断层成像技术, 目前已用于全身多种疾病的诊断与疗效评估。磁共振血管成像(Magnetic Resonance Angiography, MRA)是MRI技术的特别应用, 可用于显示和评估全身多个部位的血管病变, 如头部、颈部、胸部和腹部。然而, 普通的MRA检查由于空间分辨率不高, 对于显示较细小的下肢动脉仍有一定困难, 故较少用于诊断周围动脉闭塞性疾病。在高场强和高梯度切换率MRI系统的支持下, 近年来兴起的对比剂增强三维磁共振血管成像技术(Three Dimensional Contrast-Enhanced MR Angiography, 3D CE-MRA)具有了较高的时间分辨率和空间分辨率, 拓展了MRA的临床应用范围, 实现了经静脉注射钆对比剂后一次性完成盆腔和全下肢动脉成像^[1-6], 为临床医师诊断和处置周围动脉闭塞性疾病提供了不可或缺的影像依据。与传统的数字剪影血管造影(Digital Subtraction Angiography, DSA)和CT血

管造影 (CT Angiography, CTA) 技术不同, MRA 检查不存在 X 线辐射的问题。所以, MRA 目前越来越受到临床医师和患者的接受, 临床应用范围也越来越广泛。与 1.5 T 扫描机不同的是, 以 3.0 T 扫描机进行全下肢动脉 3D CE-MRA 检查时无需使用表面线圈。这不仅增加了病人舒适度, 简化了检查流程, 提高了工作效率, 也为放射科大规模开展 3D CE-MRA 检查奠定了基础。本文将回顾性总结我院在 3.0 T MRI 系统探索 3D CE-MRA 技术, 以及完成全下肢动脉成像检查的体会。

1 材料和方法

1.1 病例资料

搜集 2007 年 1 月至 2010 年 3 月期间临床可疑下肢动脉狭窄与闭塞、且在我科进行 3D CE-MRA, 全下肢动脉成像的患者 43 例, 其中男 28 例, 女 15 例, 年龄范围 56~87 岁, 平均 71 ± 14 岁。病人的主要临床表现有下肢疼痛、下肢麻木、间歇性跛行、足背动脉搏动减弱或消失、患侧肢体发凉、下肢肿胀及皮肤破损。本组患者中, 16 例有 10 年以上糖尿病史, 21 例有 10 年以上高血压病史。此外, 2 例患者因碘过敏, 3 例因年龄较大和股动脉插管困难而放弃 CTA 和 DSA 检查, 转而申请双下肢 3D CE-MRA 检查。扫描前病人均被告知相关注意事项, 并在 CE-MRA 检查知情同意书上签字。

1.2 检查方法

成像设备为 3.0 T 超导全身磁共振扫描仪 (Signa Excite HD, GE Healthcare), 通过体线圈扫描和采集数据。患者取仰卧位, 足先进, 扫描范围从肾下极腹主动脉水平到双足动脉。3D CE-MRA 断层扫描方向取冠状面, 自上而下分三段定位, 并依次采集第一段 (下腹盆腔段)、第二段 (大腿段) 和第三段 (小腿段), 同时, 以自动移床技术跟踪动脉血管内钆对比剂行程。检查前在病人肘静脉先建立静脉通道, 患者平卧后再与高压注射器 (Spectris Solaris, Medrad) 连接。扫描前训练患者屏气 (仅用于下腹盆腔段扫描), 嘱咐病人在检查过程中保持体位不动。为避免下肢不自主运动, 使用固定带将患者的双下肢适当制动。

1.3 测定延迟时间

要想确定延迟时间, 即自注射对比剂开始至实际启动 CE-MRA 扫描程序的时间间隔, 需要预先测定个体的循环时间, 即自注射对比剂开始到对比剂抵达靶血管的峰值时间。完成病人摆位后, 在从足到腹依次采集三维定位图像的基础上, 应利用轴面 2D-TOF MRA 序列获得下腹盆腔动脉与下肢动脉血管的冠状面定位图, 并据此确定延迟时间的兴趣区血管层面, 本组为肾下段腹主动脉。测定延迟时间的钆对比剂注射方案为: 对比剂 2.0 mL, 速率 2.0 mL/s, 而后以 15 mL 生理盐水冲洗血管 (表 1)。在经肘静脉团注对比剂的同时, 启动 2D FSPGR 单层扫描序列, 在肾下段腹主动脉连续采集 50 幅轴面图像, 1 幅/s。完成扫描后, 利用随机软件绘制时间-信号强度曲线 (Time-signal Intensity Curve, TIC), 计算对比剂到达腹主动脉靶区的峰值时间。

1.4 CE-MRA 扫描

基于 2D-TOF MRA 序列生成的盆腔与下肢血管冠状面定位图, 计划 3 段式 3D CE-MRA 扫

描方案。CE-MRA 的成像序列为 3D TOF FSPGR，扫描参数如下：TR 3 ms，TE 0.9~1.2 ms，FA 20°，单个 FOV 46 cm×35 cm，矩阵 288×192，NEX 0.75~1 次，层厚 2.6~3.2 mm，层间重叠 1.3~1.6 mm，采集层数酌情选择 54~60 层。相邻 FOV 之间重叠 40 mm。

表 1 测定循环时间注射方案

Table 1 Injection protocol to calculate circulating time

注射物	速率/mL·s ⁻¹	剂量/mL
钆对比剂	2.0	2
生理盐水	2.0	15

先做蒙片（mask）扫描，依次完成第一段、第二段、第三段采集。之后设置 3D CE-MRA 的钆对比剂注射方案：总剂量 0.2 mmol/kg，注射速率分 2.0 mL/s 和 0.5 mL/s 两部分，最后以 15 mL 生理盐水冲洗血管（表 2）。在显示屏确认延迟时间后，启动 3D CE-MRA 扫描。注射对比剂后完成 3 个区域动脉血管的扫描时间为第一段 15 s、第二段 17 s 和第三段 33 s。加之两次移床时间，单程检查时间为 1 分 15 秒。扫描过程中，在执行下腹和盆腔段 MRA 采集时嘱患者屏气，以消除呼吸运动伪影，为后期进行血管减影创造条件。在大腿段和小腿段进行 MRA 扫描时无需屏气。

表 2 全下肢动脉 MRA 注射方案

Table 2 Injection protocol for 3D CE-MRA of whole lower extremity arteries

注射物	速率/mL·s ⁻¹	剂量/mL
钆对比剂	2.0	20
钆对比剂	0.5	8~18
生理盐水	0.5	15

1.5 工作站后处理

原始数据采集结束后，应用随机软件依序对 3 个区域在不同时相的血管分别处理。先用增强后动脉期的图像减去蒙片（增强前平扫）的图像，获得 2D 动脉影像。再经过对图像剪切和修饰，以及最大信号强度投影（Maximum Intensity Projection, MIP）重组，分别形成 3 个区域的 3D 动脉影像。最后，将 3 个区域的 3D 动脉影像连接，以得到下腹盆腔和全下肢动脉的整体 MRA 图像。

2 结果

43 例患者中，42 例顺利完成检查，检查成功率为 98%。在肾下段腹主动脉测量延迟时间，本组病例所得数据范围为 16~24 s，平均 20 ± 5 s。对 3D CE-MRA 的成像效果总体评价发现，动脉血管边缘清晰，图像质量符合诊断要求。图 1 所示 3D CE-MRA 显示盆腔与双侧下肢动脉多处狭窄（箭）、中断（虚箭）和侧支血管形成（箭头）；图 2 所示 3D CE-MRA 显示盆腔与下肢动脉多处狭窄（箭）、中断（虚箭）和侧支血管形成（箭头），右侧下肢自大

腿上部已截除。1例患者因病情较重，不能坚持较长时间平卧和静止不动，在注射对比剂前中止了检查。

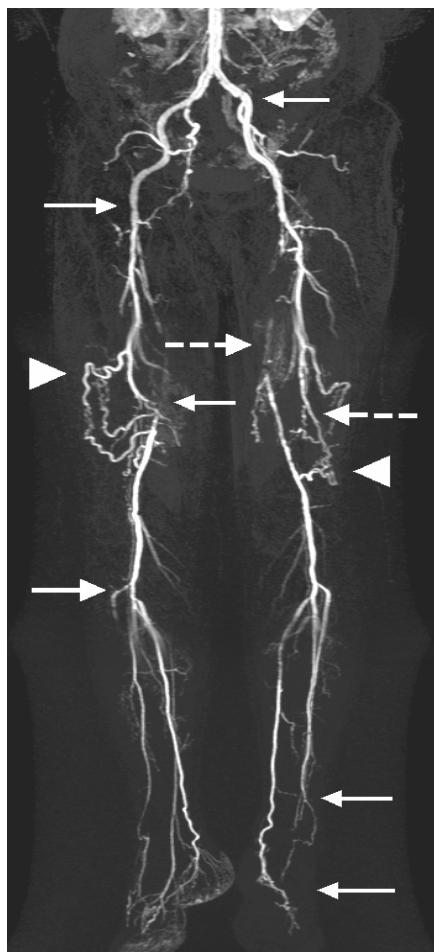


图1 高血压所致下肢动脉硬化性闭塞

Fig.1 Arteriosclerosis obliterans of lower extremities due to hypertension

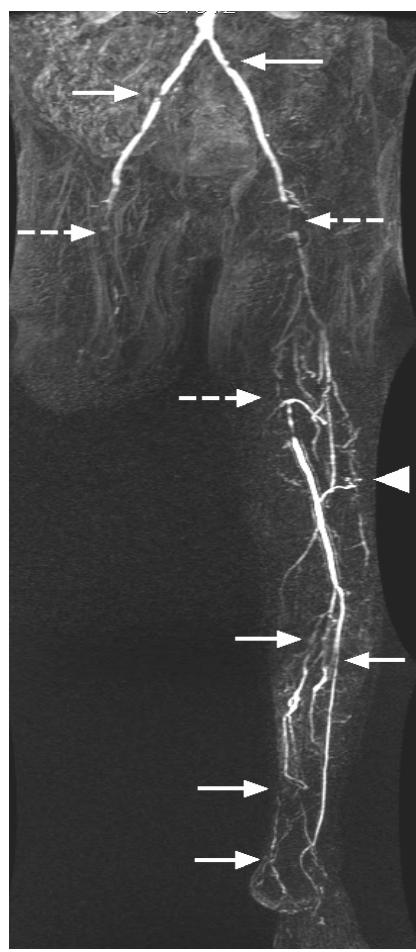


图2 糖尿病所致下肢动脉硬化性闭塞

Fig.2 Arteriosclerosis obliterans of pelvis and lower extremities due to diabetes mellitus

按部位具体分析本组 42 例 3D CE-MRA 发现，在对 3 个区域的动脉血管连接时，1 例不能完成连接，考虑因技师在扫描定位时误操作所致，但不影响显示和诊断病变血管；2 例的下腹盆腔段动脉血管边缘模糊，而下肢血管不受影响，考虑因患者屏气配合不佳引起；1 例大腿段动脉血管存在双影，考虑系在扫描过程中患者腿部不自主颤动所致；在 3 例大腿段和 4 例小腿段动脉血管图像中有少许静脉血管显示，提示存在轻微静脉污染，可能与相应区域扫描较晚或动静脉短路形成有关。

3 讨论

周围动脉闭塞性疾病是一种发生于肢体动脉的慢性和进展性病变，以双下肢动脉最常

见，在55岁以上男性人群中的发病率为4.5%~8.8%^[4]，严重影响老年人的日常活动和生活质量。根据临床症状诊断该病不难，但是，当病人要求针对性治疗时，往往需要对盆腔和下肢动脉进行全面的影像检查，以评估相关血管病变的具体部位和程度。

3.1 CE-MRA 的成像原理

顺磁性钆对比剂进入血液后，可缩短周围组织的T1弛豫时间，在GRE序列使血管内血液呈明显高信号^[7-8]。快速扰相梯度回波序列（如Fast SPoiled Gradient Recalled echo, FSPGR）采用短TR时间，能在一定程度上抑制背景组织的信号强度。血管增强扫描结束后，将动脉期、静脉期原始图像数据与蒙片依次减影，再利用各种后处理技术，对各段血管适当剪裁、重组与连接，最后可形成一幅包含下腹盆腔与双下肢血管的完整MRA图像。

3.2 准确选择延迟时间的意义

在3D CE-MRA扫描前，可以通过以下3种方法确定扫描的延迟时间：①经验估算，有经验的操作者可以根据病人身高、心率、循环状况等因素估算对比剂自注射到抵达靶血管的峰值时间，而后根据K空间填充方式确定扫描的延迟时间。但是，个体差异会造成对比剂延时到达或提前到达，影响成像质量；②智能跟踪，在静脉注射小剂量对比剂的同时，启动智能跟踪MRA扫描程序，并在屏幕实时监测，当看到对比剂到达靶血管时立即启动3D CE-MRA扫描程序，该方法要求兴趣区定位准确，操作者反映敏捷，能够及时捕捉血管内高信号和扫描时机；③TIC测量，静脉内注射小剂量对比剂后，对比剂随血液循环至靶血管区，连续测量靶血管区的MR信号强度，即可绘制一个TIC曲线，从而获得对比剂自注射至抵达靶血管峰值的时间，并据此确定扫描的延迟时间。

本组为提高3D CE-MRA检查的成功率，均采用第3种方法计算延迟时间。尽管患者的年龄不同、体重不同、心功能不同、血管病变的部位和程度差异较大，通过小剂量团注形成的TIC可以准确计算出每位患者的延迟时间，保证了下肢动脉血管的成像质量。在动脉内对比剂浓度的高峰时间采集MR信号意义重大。如果3D CE-MRA扫描过早，因动脉血液尚未完全强化，将形成动脉血管信号较弱，或是在血管中心出现低信号带，即空心现象；如果扫描过晚，将会出现动脉和静脉同时显影；如果静脉血管显影明显，将会影响观察动脉血管。

3.3 合理选择K空间填充方式

K空间是MRI和MRA成像的重要参数。K空间内不同部位的数据决定MR图像的不同特征。K空间中心的数据决定图像的对比度，K空间周边的数据决定图像的空间分辨力。在本组3D CE-MRA序列中，我们将决定图像对比度的低频数据填充到K空间中心，使兴趣区血管内对比剂浓度达到峰值的时间与K空间中心区数据的采集时间保持一致，从而得到对比度最佳的动脉血管图像，保证了3D CE-MRA的成像质量。

在3D CE-MRA的成像过程中，为了尽可能长时间地维持不同区域动脉血管内对比剂的峰值，我们以两种不同的速率注射钆对比剂。首先以较高速率注射1/2~2/3部分，使动脉血内的对比剂浓度快速达到峰值，而后，以较低速率注射剩余部分，这就使较远侧动脉血内的对比剂浓度得以较长时间维持，从而保证远侧小血管的成像质量^[9]。在对

比剂之后立即注入适量生理盐水，不仅可以及时冲洗管腔，减少对比剂在导管和静脉内的残留，还有助于消除或减缓高浓度对比剂对局部血管的刺激，防止静脉炎等并发症的发生。

总之，3D CE-MRA 具有检查成功率高、无需动脉插管、无 X 线辐射、对比剂用量较少、副作用较低的特点，能够产生高质量的盆腔和全下肢动脉血管图像，为临床医师诊断和处置下肢动脉闭塞性疾病提供可靠的影像依据。

参考文献

- [1] Berg F, Bangard C, Bovenschulte H, et al. Hybrid contrast-enhanced MR angiography of pelvic and lower extremity vasculature at 3.0 T: Initial experience[J]. Eur J Radiol, 2009, 70(1): 170–176.
- [2] Berg F, Bangard C, Bovenschulte H, et al. Feasibility of peripheral contrast-enhanced magnetic resonance angiography at 3.0 Tesla with a hybrid technique: Comparison with digital subtraction angiography[J]. Invest Radiol, 2008, 43(9): 642–649.
- [3] Deutschmann HA, Schoellnast H, Portugaller HR, et al. Routine use of three-dimensional contrast-enhanced moving-table MR angiography in patients with peripheral arterial occlusive disease: Comparison with selective digital subtraction angiography[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2006, 29(5): 762–770.
- [4] Loewe C. Peripheral MR angiography[J]. Semin Ultrasound CT MR, 2003, 24(4): 280–315.
- [5] Kos S, Reisinger C, Aschwanden M, et al. Pedal angiography in peripheral arterial occlusive disease: First-pass i.v. contrast-enhanced MR angiography with blood pool contrast medium versus intraarterial digital subtraction angiography[J]. Am J Roentgenol, 2009, 192(3): 775–784.
- [6] Andreisek G, Pfammatter T, Goepfert K, et al. Peripheral arteries in diabetic patients: Standard bolus-chase and time-resolved MR angiography[J]. Radiology, 2007, 242(2): 610–620.
- [7] 符忠祥, 徐敬慈, 朱勇, 等. 3D CE-MRA 对下肢动脉硬化性闭塞症的应用[J]. 上海医学影像, 2007, 12(2): 118–120.
Fu ZX, Xu JC, Zhu Y, et al. The study of 3D CE-MRA in diagnosis of arteriosclerosis obliterans in lower extremities[J]. Shanghai Medical Imaging, 2007, 16(2): 118–120.
- [8] 贾文霄, 周雁玲, 王俭, 等. 移床-血管示踪 MR 血管成像在下肢动脉疾病中的临床应用[J]. 实用放射学杂志, 2006, 22(4): 449–452.
Jia WX, Zhou YL, Wang J, et al. Clinical application of 3D contrast-enhanced moving-bed MRA in arterial diseases of lower extremities[J]. J Pract Radiol, 2006, 22(4): 449–452.
- [9] 刘伯山, 张玉香, 王健, 等. 全下肢动脉血管造影技术的临床应用探讨[J]. 实用放射学杂志, 2007, 23(4): 532–534.
Liu BS, Zhang YX, Wang J, et al. Clinical application of digital subtraction angiography technique in lower extremity arteries[J]. J Pract Radiol, 2007, 23(4): 532–534.

Clinical Application of MR Angiography of Whole Lower Extremity Artery

ZHANG Yi, DENG Li-gang, JIN Er-hu[✉], LIANG Yu-ting, GUAN Wei

Department of Radiology, Beijing Friendship Hospital,
Capital Medical University, Beijing 100050, China

Abstract: Objective: To determine the role of three dimensional contrast-enhanced MR angiography (3D CE-MRA) in evaluating the peripheral arterial occlusive disease. Methods: 3D CE-MRA examinations of pelvic and whole lower extremity arteries were performed at 3.0 Tesla MR system in 43 symptomatic patients. Artificial subtraction of source images, reconstruction of maximum intensity projection (MIP) and pasting of three segments in the post-processing software were done step by step, and the vasculature trees of the whole pelvic and lower leg arteries with variable views were obtained. Results: 3D CE-MRA scanning and post-processing editing were successfully completed in 42 patients (98%), arterial vasculature was showed clearly and image was qualified for evaluating the disease. One examination failed due to poor cooperation and severe illness of the patient. Conclusion: 3D CE-MRA provided useful information in clinically diagnosing and managing the peripheral arterial occlusive disease.

Key words: peripheral arterial occlusive disease; lower extremity; magnetic resonance angiography

作者简介：张艺（1965—），女，首都医科大学附属北京友谊医院放射科主管技师，主要从事 MRI 检查工作，Tel: 13651108343, 63139273, E-mail: zhangyi1116@126.com；靳二虎[✉]（1963—），首都医科大学附属北京友谊医院放射科主任医师，教授，硕士和博士研究生导师，主要从事 MRI 应用和诊断工作，Tel: 13691520084, 63138448, E-mail: erhujin@263.net。