

脊髓血管畸形的快速增强 MRA 与 DSA 诊断的比较研究

王 武, 李明华, 方 淳, 王 珏, 肖云锋

【摘要】 目的 评价椭圆形中心顺序 (elliptic centric ordered) 的快速增强磁共振血管成像 (fast contrast-enhanced MR angiography, CE-MRA) 在脊髓血管畸形中的诊断和临床应用价值。**方法** 25 例临床怀疑脊髓血管畸形的患者在 1.5T MR 机上接受了椭圆形中心顺序的快速 CE-MRA 检查, 所有病例行选择性全脊椎动脉造影, 18 例施行了外科手术, 其中 2 例术前行血管内栓塞, 术后 MRA 随访了 10 例; 以选择性全脊椎动脉造影为金标准, 就病变诊断、供养动脉起源、供养动脉、瘘口或瘤巢、引流静脉和血管的图像质量 (包括血管的连续性、强化程度和清晰度) 进行 MRA 和 DSA 的比较。**结果** 经外科手术证实 18 例, 包括脊髓动静脉畸形 3 例、髓周动静脉瘘 5 例、硬膜动静脉瘘 7 例、椎旁动静脉瘘 1 例、自发性椎管内硬膜外血肿 2 例; MRA 显示脊髓血管畸形的诊断、供养动脉起源、供养动脉、瘤巢或瘘口、引流静脉与 DSA 的符合率分别为 93.8%、92%、96.2%、100% 和 100%, MRA 显示血管强化和清晰度类似于 DSA ($P > 0.05$), DSA 显示血管的连续性优于 MRA ($P < 0.05$); 9 例 MRA 未见椎管内异常血管, 与 DSA 完全符合。术后 MRA 随访的 10 例原异常血管未再显示。**结论** 椭圆形中心顺序的快速 CE-MRA 能够初步诊断脊髓血管畸形的亚型, 能够显示脊髓血管畸形的供养动脉起源、供养动脉、瘤巢或瘘口、引流静脉, 能够指导选择性脊椎动脉造影和手术治疗, 是脊髓血管畸形术前诊断和术后随访的重要手段。

【关键词】 磁共振血管成像; 脊髓血管畸形; 选择性脊椎动脉造影;

中图分类号: R543.7 文献标识码: A 文章编号: 1008-794X(2007)-08-0507-06

Comparison between fast contrast-enhanced MR angiography and DSA in diagnosing spinal cord vascular malformations WANG Wu, LI Ming-hua, FANG Chun, WANG Jue, XIAO Yun-feng.
Department of Diagnostic and Interventional Radiology, the Affiliated Sixth People's Hospital of Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200233, China

【Abstract】 Objective To evaluate the diagnostic and clinical value of fast contrast-enhanced MR angiography (CE-MRA) with elliptic centric phase-encoding in spinal cord vascular malformations. **Methods** Fast three-dimensional contrast-enhanced MR angiography with elliptic centric phase-encoding and superconducting 1.5T system was applied prospectively in twenty-five consecutive patients with clinically suspected of spinal cord vascular malformations. All cases were performed with selective spinal digital subtraction angiography, including 18 cases treated by surgery and 2 of them with embolization before surgery, MR angiography follow up were undertaken in ten patients after surgery. Comparing fast contrast-enhanced MR angiography with DSA in diagnosing spinal cord vascular malformations included the origin of feeding artery, the feeding artery, the fistula or the nidus, the draining vein, and the vessel image quality based on the gold standard of selective spinal digital subtraction angiography. **Results** Surgically proven diseases included spinal arteriovenous malformations (3 cases), spinal cord perimedullary arteriovenous fistulas (5 cases), spinal dural arteriovenous fistulas (8 cases), paravertebral arteriovenous fistulas (1 case), and spontaneous spinal epidural hematomas (2 cases). Comparing with DSA, the accuracy of MR angiography in diagnosing spinal cord vascular malformations; and detecting the origin of the feeding artery, the feeding artery, the shunt or the nidus and the draining vein were 93.8%, 92%, 96.2%, 100% and 100%, respectively. Overall the degree

vascular enhancement were judged to be similar ($P > 0.05$), but the vessel continuity of MRA was inferior to DSA ($P < 0.05$). However, 9 cases of MRA showed no abnormal vascular malformation coinciding with those of surgery. Posttreatment MR angiography did not depict any abnormal vessels again. **Conclusions** Fast three-dimensional contrast-enhanced MR angiography with elliptic centric phase-encoding may provide preliminarily the diagnosis of spinal cord vascular malformations, including the origin of the feeding artery and the feeding artery, the shunt or the nidus, the draining vein, and is also useful in aiding and facilitating selective spinal digital subtraction angiography and surgery; and is important to be the follow-up method for spinal cord vascular malformations for after surgery. (J Intervent Radiol, 2007, 16: 507-512)

[Key words] Magnetic resonance angiography; Spinal cord vascular malformation; Selective spinal arterial digital subtraction angiography

脊髓血管畸形(spinal cord vascular malformation, SCVM)属于可治疗性脊髓病变,因而及时准确地诊断和定位 SCVM 非常重要。以往主要依靠选择性脊椎动脉造影明确诊断,但其操作复杂,又有一定的创伤性和风险,并需使用大剂量的含碘对比剂,存在 X 线的高辐射量^[1,2]。近年来国内外脊髓 MRA 研究提高了该病的检出率,逐渐成为非创伤性诊断脊髓血管病变的一种理想方法,在脊髓血管造影前能够显示畸形血管的供养动脉和引流静脉,尤其是明确硬膜动静脉瘘(spinal dural arteriovenous fistulas, SDAVF)的瘘口节段,在诊断过程中减少了 50%对比剂使用 and X 线辐射,缩短了诊断时间,并能指导血管内介入或手术治疗^[2-5]。本研究通过与 DSA 的对照,评价椭圆形中心顺序的快速增强 MRA (CE-MRA)诊断 SCVM 的临床诊断和应用价值。

1 材料和方法

1.1 临床资料

收集我院 2004 年 10 月 - 2007 年 3 月间 25 例疑及 SCVM 病例,男 17 例,女 8 例;年龄 22 ~ 79 岁,平均 45 岁;患者发病至就诊时间为 3 ~ 29 个月,其临床症状与脊髓出血、缺血、受压和脊髓神经根受压有关,出现不同程度单侧或双侧下肢乏力或无力(25 例)和或不同平面的感觉障碍(11 例),甚至出现括约肌功能障碍(7 例)或偏瘫(2 例)、截瘫(2 例),8 例表现为进展性脊髓综合征,6 例突然发病,2 例脊髓内出血,1 例头颅 CT 证实颅内蛛网膜下腔出血,1 例腰穿证实椎管内蛛网膜下腔出血;经脊椎动脉造影和手术证实 18 例,经脊椎动脉造影显示阴性 7 例。

1.2 MRI 和 MRA 方法

25 例疑诊 SCVM 患者用 GE 1.5T Signa 超导磁共振扫描仪扫描,患者取仰卧位,采用后置脊柱专

用线圈(四通道)。根据临床体征定位,分为颈段(后颅窝延髓、颈椎和上两节胸椎)、胸段(第 1 胸椎到第 2 腰椎)和胸腰段(第 6 胸椎到第 5 骶椎)3 段。①平扫:常规脊柱 MRI 矢状位 SE 序列 T₁WI (TR/TE = 500/12 ms)、FSE 序列 T₂WI 和 T₂WI + 脂肪抑制图像 (TR/TE = 3 000/100 ms)。②定位:选择 MRA 的中心层面,行横断位 T₂WI 扫描,覆盖矢状面 T₂W 显示的畸形血管,上下 10 ~ 14 个椎体,采用矢状位采集,覆盖主动脉弓、椎管和肋间动脉等供养动脉全径;颈段和胸段触发点定于主动脉弓升主动脉侧,胸腰段触发点定于主动脉弓降主动脉侧,使用 Smartprep 软件自动触发,延迟 4 s 启动 MRA 序列采集数据。③快速 CE-MRA:使用椭圆形中心顺序的破坏性梯度回波序列 (spoiled gradient-echo sequence, SPGR 序列) 采集原始数据,类似于 Farb 和 Wilman 等^[4,6]的报道,具体参数为 TR:4.6 ~ 5.3 ms, TE:1.0 ~ 1.3 ms, 翻转角:30°/35°/40°, 带宽:31.2 Hz, FOV:36 × 21.6 cm, 矩阵:256 × 160/192, 层厚:1.2 mm, 层数 54 ~ 60, 零充填后 100 ~ 110 层, 0.6 mm 重叠, 矩阵:512 × 512;增强前常规扫描一次。④增强:单侧肘静脉人工快速注射钆喷替酸葡甲胺(Gd-DTPA)45 ml,接着注射生理盐水 25 ml, 35 s 内完成,平均注射速率为 2 ml/s,在注射对比剂开始后 10 ~ 15 s 自动触发,单次扫描时间为 26 ~ 31 s,间隔 1 s,采集 2 次,不需要屏气。⑤增强后矢状位、冠状位、横断位 T₁W 扫描,参数同增强前;整个检查约需 30 min;⑥后处理:首先将增强后原始数据和增强前原始数据减影,再传输到 Sun Mircosystem ADW 4.0 图像处理工作站进行重建,然后结合增强后第一期原始数据多平面重建法 (multiplanar reformat, MPR)重建的图像行最大密度投影法 (maximum intensity projection, MIP)重建图像和剪去非供养动脉起源的肋间动脉和腰动脉等

干扰或重叠血管的 3D 图像;约需 20 min。⑦图像分析:CE-MRA 常规正位、侧位和斜位,与正侧斜位 DSA 相对应。

1.3 DSA

所有患者在 MRA 检查后 3 d 内行全脊髓选择性血管造影,2 例行介入 NBCA 栓塞,在 AXIOM Artis DTA (SIMENS)平板 DSA 机下行 4 F/5 F 造影导管插管,对比剂为 300 mg/ml 的碘必乐,每支血管注射速率为 1 ~ 2 ml/s,总量 3 ~ 6 ml/s,摄片 3 ~ 6 帧/s。

1.4 手术

手术在全脊髓选择性血管造影后 1 周内完成,手术后 1 周由进行造影检查的 1 名神经介入医师和参加手术的 1 名神经外科医师共同确定最终诊断。

1.5 随访

使用 MRA 随访,术后随访到 10 例 SCVM,随访时间为术后 3 个月或 6 个月,所有随访病例临床症状明显改善或稳定。

1.6 比较方法

采用回答问题形式,① ~ ⑤由 3 名有经验的神经放射学医师共同得出结论,意见不一致时投票确定:①确定有无畸形血管;②病灶有无瘘口或瘤巢,并确定亚型;③确定供养动脉的起源或节段,位于左侧或(和)右侧,是肋间动脉或腰动脉或椎动脉;④供养动脉是脊髓前动脉抑或脊髓后动脉或根软膜动脉抑或椎体支,有多少支供养动脉;⑤确定引流静脉的方向:向上或向下;脊髓前或脊髓后静脉引流,有多少支引流静脉。最后使用统计软件 SPSS 11.0 中的非参数统计^[7]评价图像质量(血管的连续性、强化程度和清晰度)(MRA 优于 DSA,计+1,DSA 优于 MRA,计-1,相同,计 0),得出各方面的 MRA 和 DSA 诊断符合率和显示血管的连续性、强化程度和清晰度差异的统计学意义。

2 结果

2.1 SCVM 的定性、亚型和部位

3 名医师确定了 16 例血管畸形(表 1),有脊髓动静脉畸形(spinal arteriovenous malformations, SAVM)3 例、脊髓髓质周围动静脉瘘(spinal cord perimedullary arteriovenous fistulas, SPMAVF)5 例、SDAVF 7 例、椎体旁动静脉瘘(para vertebral arteriovenous fistulas, PVAVF)1 例;除 1 例 SPMAVF 无法诊断外, MRA 正确诊断了 15 例脊髓血管畸形的亚型,与 DSA 的符合率为 93.8%;9 例 MRA 未见

椎管内异常血管,与 DSA 相符合,阴性诊断率达到 100%。颈段 3 例分别为 1 例 SAVM 和 2 例阴性病例,胸段 5 例分别为 1 例 SAVM、1 例 SPMAVF 和 3 例阴性病例(包括 2 例硬膜外血肿, spontaneous spinal epidural hematoma, SSEH),胸腰段 17 例分别为 4 例 SPMAVF、8 例 SDAVF、1 例 PVAVM 和 4 例阴性病例。

2.2 MRA 和 DSA 比较

所有病例 MRA 检查先于 DSA 检查,3 名医师确定了 25 个节段的供养动脉起源,除以上无法诊断这例外,还有 1 例颈段的 SAVM 的 1 支供养动脉来源(颈升动脉)无法确定,其符合率为 92%,左侧起源 10 例,右侧起源 4 例,两侧起源 2 例;椎动脉起源 1 例,甲状颈干起源 1 例,肋间动脉起源 10 例,腰动脉起源 4 例。供养动脉共计 26 支,脊髓前动脉 10 支,脊髓后动脉 7 支,根软膜动脉 6 支,椎体支 2 支,10 例由单支动脉供养,4 例由 2 支动脉供养,其中 1 例由同节段的脊髓前、后动脉供血(图 1~6),1 例由 3 支动脉供养,1 例由 5 支动脉供养,与 DSA 符合率达到 96.2%;瘤巢型 3 例,瘘口型 16 例,完全与 DSA 符合(100%);引流静脉共计 25 支,向上引流 5 例,向下引流 6 例,同时显示向上向下引流 5 例,脊髓后引流 9 例,脊髓前后共同引流 7 例,7 例由单支静脉引流,9 例由 2 支静脉引流,完全与 DSA 符合(100%)。在图像质量考核方面, MRA 的血管强化类似于 DSA ($P > 0.05$), DSA 显示血管的连续性和清晰度优于 MRA ($P < 0.05$)(表 1);术后 MRA 随访的 10 例 SCVM,2 例血管内栓塞的病例术后残留(图 7~10),再次行 MRA 和 DSA 证实,手术后原异常血管未再显示,符合率达到 100%。

表 1 MRA 和 DSA 的图像质量比较

	血管强化	血管连续性	清晰度
相关评分	-0.13 ± 0.50	-0.5 ± 0.73	-0.06 ± 0.68
T + /T -	2.5/7.5	13/65	12/16
P 值	> 0.05	< 0.05	> 0.05

相关评分:平均评分 ± S;T+/T-:评分正负值的总数

3 讨论

临床上 SCVM 非常少见,约占脊髓占位性病变 2% ~ 11.5%^[1],常以脊髓病发病,临床症状往往由脊髓出血、缺血、受压和脊髓神经根受压引起,发病急,呈进展性下肢无力和(或)不同平面的感觉障碍,甚至排便障碍。若不能及时诊断和治疗这些疾病,将导致灾难性后果。以往那些可疑脊髓血管畸形的病例主要依靠 MRI 检查^[1,8],MRI 能发现椎管内

表 1 SCVM 的 CE-MRA 和 DSA 比较

病例/性别/年龄	CE-MRA				DSA				手术结果
	供养动脉起源	供养动脉	瘤巢或瘘口	引流静脉/方向	供养动脉起源	供养动脉	瘤巢或瘘口	引流静脉/方向	
1/男/45岁	两侧椎动脉	脊髓前动脉	瘤巢	脊髓后静脉/上	两侧椎动脉和右侧颈升动脉	脊髓前动脉	瘤巢	脊髓后静脉/上	SCAVM
2/男/39岁	右侧T5	脊髓前动脉	瘤巢	脊髓前后静脉/上下	右侧T5	脊髓前动脉	瘤巢	脊髓前后静脉/上下	SCAVM
3/女/39岁	左侧T10/L1	脊髓前后动脉	瘤巢	脊髓前后静脉/上下	左侧T10/L1	脊髓前后动脉	瘤巢	脊髓前后静脉/上下	SCAVM
4/女/50岁	左侧T5/8/11/L1/右T9	脊髓前后动脉	瘘口	脊髓后静脉/下	左侧T5/8/11/L1/右T9	脊髓前后动脉	瘘口	脊髓后静脉/下	SPMAVF
5/女/38岁	右侧T8/T11	脊髓前后动脉	瘘口	脊髓后静脉/下	右侧T8/T11	脊髓前后动脉	瘘口	脊髓后静脉/下	SPMAVF
6/男/33岁	左侧T11	脊髓前后动脉	瘘口	脊髓前后静脉/下	左侧T11	脊髓前后动脉	瘘口	脊髓前后静脉/下	SPMAVF
7/男/45岁	左侧T11	脊髓前动脉	瘘口	脊髓前后静脉/上	左侧T11	脊髓前动脉	瘘口	脊髓前后静脉/上	SPMAVF
8/男/79岁	左侧T11	脊髓前动脉	瘘口	脊髓前后静脉/上下	左侧T11	脊髓前动脉	瘘口	脊髓前后静脉/上下	SPMAVF
9/男/54岁	不能确定	不能确定	瘘口	脊髓后静脉/上	左侧T11	根软膜动脉	瘘口	脊髓后静脉/上	SDAVF
10/男/33岁	右侧T12	根软膜动脉	瘘口	脊髓前后静脉/上	右侧T12	根软膜动脉	瘘口	脊髓前后静脉/上	SDAVF
11/男/50岁	左侧L1	根软膜动脉	瘘口	脊髓前后静脉/上	左侧L1	根软膜动脉	瘘口	脊髓前后静脉/上	SDAVF
12/男/73岁	左侧T11	根软膜动脉	瘘口	脊髓后静脉/上下	左侧T11	根软膜动脉	瘘口	脊髓前后静脉/上下	SDAVF
13/女/55岁	左侧T12	根软膜动脉	瘘口	脊髓后静脉/上	左侧T12	根软膜动脉	瘘口	脊髓后静脉/上	SDAVF
14/男/56岁	左侧T12	根软膜动脉	瘘口	脊髓后静脉/下	左侧T12	根软膜动脉	瘘口	脊髓后静脉/下	SDAVF
15/男/69岁	左侧T12	根软膜动脉	瘘口	脊髓后静脉/下	左侧T12	根软膜动脉	瘘口	脊髓后静脉/下	SDAVF
16/女/57岁	左侧L2/L3	椎体支	瘘口	硬膜外后静脉/下	左侧L2/L3	椎体支	瘘口	硬膜外后静脉/下	PVAVM

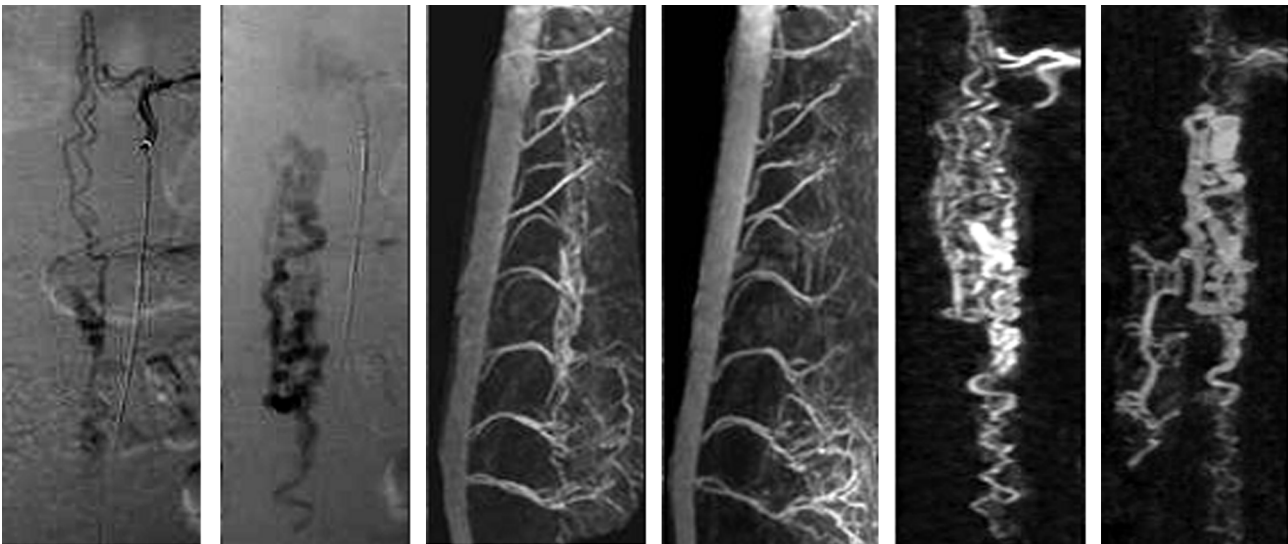


图 1 图 2 图 3 图 4 图 5 图 6

图 1~图 6 为病例 6(SPMVF),左侧 T11 肋间动脉发出脊髓前后动脉,分别形成瘘口,通过增粗的脊髓前后髓静脉向下引流,图 1 和图 2 为 DSA 正位动脉和静脉期图像,图 3 和图 4 为术前后 3D-CE-MRA 侧位,对照后发现术后畸形血管完全消失,图 5 和图 6 为 3D-CE-MRA 正位,图 5 为第一期,示左侧 T11 肋间动脉、脊髓前后动脉、瘘口和近段引流静脉,图 6 为第二期,显示远段引流静脉,并在右侧 L2 椎间孔向硬膜外引流

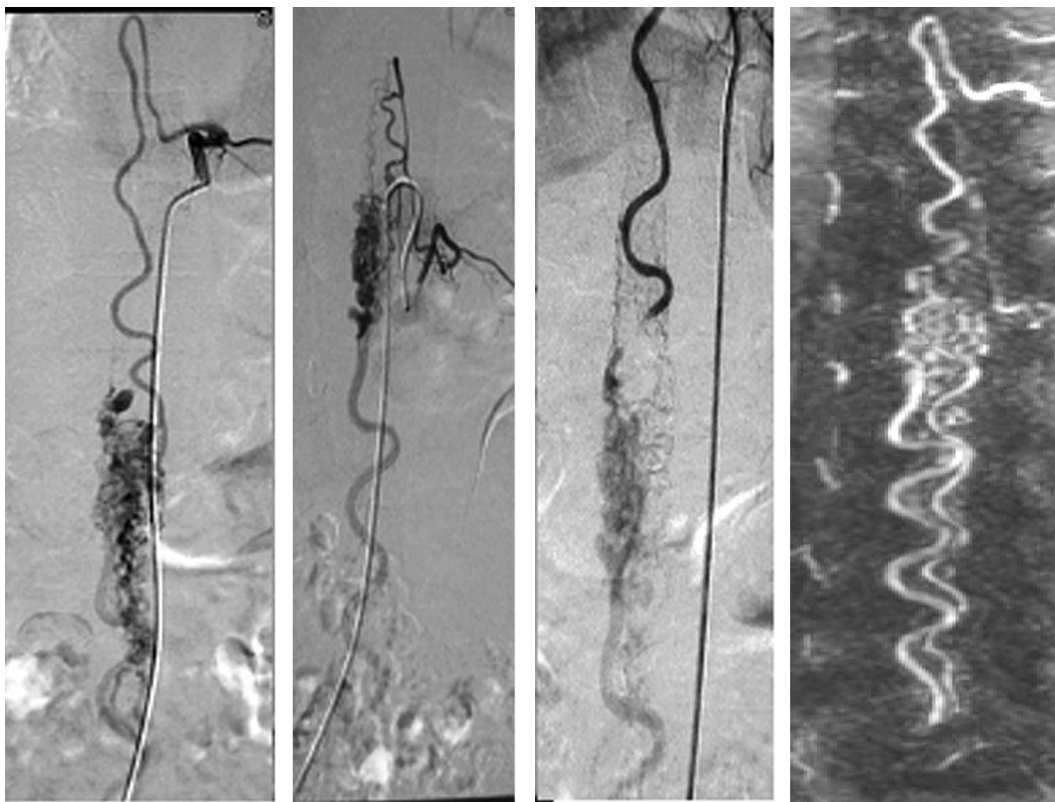


图 7

图 8

图 9

图 10

图 7~图 10 为病例 3(SCAVM),左侧 T10 肋间动脉发出脊髓前动脉和左侧 L1 腰动脉发出脊髓后动脉供养的动静脉畸形,通过增粗的脊髓前后髓静脉向下引流,图 7 和图 8 为 DSA 动静期正位,图 9 为 NBCA 部分栓塞 3 个月后复查 DSA 正位图像,图 10 为复查 DSA 前 MRA 第一期正位图像,显示瘤巢部分残留

脊髓内外的异常扩张的、扭曲血管的流空信号影,但是无法区分动脉和静脉。

3.1 MRA 方法

近年来一些国外学者进行了 MRA 诊断 SCVM 的研究,方法大致分为 3 类:①快速 3D 动态增强 MRA;②小剂量对比剂团注检测性快速增强 MRA;③实时监测自动触发椭圆形中心顺序快速增强 MRA,从时间上区分动脉和静脉,提高了该病的检出率,取得了很好的临床效果,SAVM 的诊断准确率达到 100%,SDAVF 的诊断准确率超过了 89%^[2-4],而且初步研究表明 MRA 联合 MRI 能够增加 SCVM 的诊断敏感性和特异性^[9]。并且术后随访也取得了显著的成绩。Mascalchi 等^[10]积累了 8 年的病例 34 例,表明 MRA 能够显示血管内治疗失败的髓内外原发的异常血管。

本研究采用的 MRA 方法类似于 Luetmer 等^[2]的报道,利用注射对比剂首过采集原始图像数据的方法,使动脉中的对比剂浓度达到峰值时进行 K 空间(k space)采样获得最佳的血管影像。本组所有病例采用 Backes 等^[11]3 倍剂量的对比剂,使用 Smartprep 软件^[12],在注射对比剂开始后 10 s 内自动触发,延

迟 4 s 后启动椭圆形中心编码快速 SPGR 序列采集原始数据,取类似于文献报道中的短 TR/TE 和小带宽,采用 FOV 为 36 cm 范围保证了不漏每支供养动脉和引流静脉,调节可利用的翻转角:30°/35°/40°,使扫描时间尽量缩短,单次扫描时间尽量控制在 30 s 内,本组 2 例由于层数多,单次扫描时间超过 30 s,并重复采集 2 次,第 1 次完全是脊髓动脉期,脊髓的正常静脉未显示,而畸形血管的供养动脉和近段的引流静脉清晰显示;第 2 次可见脊髓的正常静脉,并且病灶的引流静脉完全显示。

3.2 MRA 的诊断价值

按照 2006 年 Kim 等^[13]报道中的分类,本组包括了除同质异构的血管畸形外的所有类型的椎管脊髓动静脉瘘和动静脉畸形。本组病例多数是 SDAVF,其次是 SAVM 和 SPMAVF,类似于文献报道中病例种类的比例。

本研究首次采用快速 3D-CE-MRA 双期扫描并重建血管,得到了动脉期、动静脉期和静脉期图像,很好的显示了 SCVM 的内部结构,能够与 DSA 很好的对应,尤其直接显示病灶的供养动脉起源、供养动脉的走行、瘤巢或者瘘口,明确引流静脉的前后

位置和上下走行,并能清晰显示向硬膜外引流的节段,与 DSA 相比较,准确率分别达到 92%、96.2%、100%和 100%。在 25 例 MRA 中,确定了所有 16 例患者的畸形血管,阳性准确性达到 100%。阴性诊断准确性也达到 100%;MRA 正确诊断了 15 例脊髓血管畸形的亚型。病例 10(SDAVF)由于血管非常细小,在 MRA 的 MRP 和 MIP 图像上供养动脉起源显示不佳,无法确定供养动脉,无法明确瘘口的类型;颈段的 SAVM 在 MRA 检查中由于范围 (FOV)有限,无法覆盖甲状颈干,这也是实施 MRA 检查的首例病例,经验不足是主要的原因。本组 SDAVF 的诊断准确性达到 85.6%,略低于文献报道,SAVM 的准确性与文献一致,达到 100%。术后 MRA 随访的 10 例原异常血管未再显示,准确性达到 100%。

在血管的图像质量评价中,本研究采用计分的非参数统计 Wilcoxon 法分别对血管强化、血管连续性和清晰度进行统计分析,显示血管强化和清晰度类似于 DSA ($P > 0.05$),DSA 显示血管的连续性优于 MRA ($P < 0.05$)。

3.3 局限性和前景展望

本组研究较全面地评价了 SCVM 的 MRA 诊断,在血管连续性方面差于 DSA,还不能达到 DSA 的空间分辨率,不能像 DSA 那样动态显示畸形血管,还不能代替 DSA。但是本研究能够初步明确 SCVM 的亚型,为进一步治疗节约了时间,并提供了重要的参考。虽然 CTA 具有超短的扫描时间,而且范围广,近似于 DSA 的空间分辨率^[4]: $0.5 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm} \times 0.75 \text{ mm}$,但不能从时间上区分动脉和静脉,而且具有一定的辐射,使用的碘对比剂对脊髓血管有一定的损害,这些都限制了 CTA 诊断 SCVM 的发展;与 DSA 检查比较:它具有无创伤性;缩短了诊断时间;类似于 DSA 的图像,静脉显示优于 DSA;明显减少了对比剂的用量和 X 线的辐射。

随着 MR 机和 MRA 技术的发展,如磁场强度 3.0T 的 MR 机,八通道的脊柱后置线圈或植入式射频线圈,平行采集数据使采集的时间进一步缩短,充分利用 K 空间技术既缩短采集时间,又保证了空间分辨率,利用血池增强对比剂降低周围背景的信号,MRA 显示小动脉和小静脉的分辨率进一步提高,完全有可能达到这一要求,成为 SCVM 术前定位定性诊断和术后随访的不可替代的重要手段。

[参考文献]

- [1] Grote EH, Voigt K. Clinical syndromes, natural history, and pathophysiology of vascular lesions of the spinal cord [J]. Neurosurg Clin No Am, 1999, 10: 17 - 45.
- [2] Luetmer PH, Lane JI, Gilbertson JR, et al. Preangiographic evaluation of spinal dural arteriovenous fistulas with elliptic centric contrast-enhanced MR angiography and effect on radiation dose and volume of iodinated contrast material [J]. AJNR, 2005, 26: 711 - 718.
- [3] Binkert CA, Kollias SS, Valavanis A. Spinal cord vascular disease: characterization with fast three-dimensional contrast-enhanced MR angiography [J]. AJNR, 1999, 20: 1785 - 1793.
- [4] Farb RI, Kim JK, Willinsky RA, et al. Spinal dural arteriovenous fistula localization with a technique of first-pass gadolinium-enhanced MR angiography: initial experience [J]. Radiology, 2002, 222: 843 - 850.
- [5] 王 武, 李明华. MR 血管成像诊断脊髓血管畸形的现状和进展 [J]. 国外医学临床放射学分册, 2006, 29: 167 - 169.
- [6] Wilman AH, Riederer SJ, King BF, et al. Fluoroscopically triggered contrast-enhanced three-dimensional MR angiography with elliptical centric view order: application to the renal arteries [J]. Radiology, 1997, 205: 137 - 146.
- [7] Nijenhuis RJ, Mull M, Wilmink JT, et al. MR angiography of the great radiculomedullary artery (Adamkiewicz artery) validated by digital subtraction angiography [J]. AJNR, 2006, 27: 1565 - 1572.
- [8] Krings T, Mull M, Gilsbach JM, et al. Spinal vascular malformations [J]. Eur Radiol, 2005, 15: 267 - 278.
- [9] Saraf-Lavi E, Bowen BC, Quencer RM, et al. Detection of spinal dural arteriovenous fistulae with MR imaging and contrast-enhanced MR angiography: sensitivity, specificity, and prediction of vertebral level [J]. AJNR, 2002, 23: 858 - 867.
- [10] Mascalchi M, Ferrito G, Quilici N, et al. Spinal vascular malformations: MR angiography after treatment [J]. Radiology, 2001, 219: 346 - 353.
- [11] Backes W, Nijenhuis RJ, Mull M, et al. Contrast-enhanced MR angiography of the spinal arteries, current possibilities and limitations [J]. Rivista di Neuroradiol, 2004, 17: 282 - 291.
- [12] Foo TK, Saranathan M, Prince MR, et al. Automated detection of bolus arrival and initiation of data acquisition in fast, three-dimensional, gadolinium-enhanced MR angiography [J]. Radiology, 1997, 203: 275 - 280.
- [13] Kim LJ, Spetzler RF. Classification and surgical management of spinal arteriovenous lesions: arteriovenous fistulae and arteriovenous malformations [J]. Neurosurgery, 2006, 59: 195 - 201.
- [14] Lai PH, Weng MJ, Lee KW, et al. Multidetector CT angiography in diagnosing Type and Type spinal vascular malformations [J]. AJNR, 2006, 27: 813 - 817.

(收稿日期:2007-03-13)