

## Advances of imaging researches of spinal dural arteriovenous fistula

YUAN Xiaoru, WU Qin, ZUO Zheng, ZENG Xianjun\*

(Department of Medical Imaging, the First Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang 330006, China)

**[Abstract]** Spinal dural arteriovenous fistula (SDAVF) is a spinal vascular malformation with low incidence, atypical and hidden clinical manifestations, which is easy to be misdiagnosed. Early diagnosis of SDAVF mainly depends on imaging examinations, including MRI, CT angiography and digital subtraction angiography, each of which has its own advantages. The research advances of imaging diagnosis of SDAVF were reviewed in this article.

**[Keywords]** spinal cord vascular diseases; diagnostic imaging; spinal dural arteriovenous fistula

**DOI:**10.13929/j.issn.1672-8475.2022.06.013

## 影像学研究硬脊膜动静脉瘘进展

袁小入, 吴 钦, 左 政, 曾献军\*

(南昌大学第一附属医院影像科, 江西 南昌 330006)

**[摘 要]** 硬脊膜动静脉瘘(SDAVF)为低发病率脊柱血管畸形, 临床表现不典型且较为隐匿, 易误诊。早期诊断 SDAVF 主要依靠影像学检查, 包括 MRI、CT 血管造影及数字减影血管造影, 三者各有其优势。本文就影像学研究 SDAVF 进展进行综述。

**[关键词]** 脊髓血管疾病; 诊断显像; 硬脊膜动静脉瘘

**[中图分类号]** R744.1; R445 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8475(2022)06-0374-04

硬脊膜动静脉瘘(spinal dural arteriovenous fistula, SDAVF)是常见的脊髓血管异常, 发病率约 5/1 000 000~10/1 000 000, 80%以上患者为男性, 年龄多为 40~60 岁, 目前病因尚不明确<sup>[1]</sup>; 其主要病理机制为硬脊膜脊髓动、静脉间瘘口形成, 脊髓根动脉血流经瘘口逆流至脊髓根静脉, 使后者逐渐动脉化, 致脊髓静脉压力逐渐升高, 并反向引流至脊髓表面而形成迂曲、扩张的引流静脉, 最终导致脊髓水肿、变性甚至坏死<sup>[2-4]</sup>。多数 SDAVF 仅有单一瘘口, 通常位于胸椎中下段; 双瘘口 SDAVF 罕见, 大部分位于相邻 3 个椎体水平范围内<sup>[5]</sup>。

SDAVF 为非自限性、进展性疾病, 早期症状较隐匿且缺乏特异性, 常表现为下肢无力、大小便失禁及感觉障碍等, 易误诊为脊髓炎、髓内肿瘤、前列腺增生、椎管狭窄或脱髓鞘疾病等。少部分 SDAVF 患者无明显症状, 此类病灶常位于颈椎, 可能与颈椎丰富的侧支静脉及独特脑脊液循环有关<sup>[6-7]</sup>。目前早期诊断 SDAVF 主要依赖于影像学检查, 但约 35% SDAVF 曾被误诊, 而误诊时间越短, 则干预后下肢运动功能及排尿功能改善程度越高<sup>[8-9]</sup>, 故早期诊断 SDAVF 十分重要。本文就影像学诊断 SDAVF 的进展进行综述。

**[基金项目]** 江西省自然科学基金(20192ACBL20040)。

**[第一作者]** 袁小入(1997—), 女, 湖北黄冈人, 在读硕士。研究方向: 中枢神经系统血管 MRI 诊断。E-mail: yxr970305@163.com

**[通信作者]** 曾献军, 南昌大学第一附属医院影像科, 330006。E-mail: xianjun-zeng@126.com

**[收稿日期]** 2022-01-07 **[修回日期]** 2022-02-16

## 1 MRI

1.1 常规 MRI 常规 MRI 为临床筛查 SDAVF 的常用手段。91.89%(34/37)SDAVF 表现为多节段脊髓水肿;70.27%(26/37)脊髓背侧可见迂曲静脉,呈串珠状或虫蚀状改变<sup>[10]</sup>。有学者<sup>[11]</sup>认为,SDAVF 脊髓水肿及静脉迂曲范围与临床症状严重程度呈正相关,脊髓水肿范围大往往提示预后不良;在疾病晚期,脊髓可因慢性缺氧而萎缩。ZALEWSKI 等<sup>[12]</sup>报道,SDAVF 所致脊髓病变 T1WI 呈低信号,增强后可不规则片状强化,与进行性静脉高压致脊髓-血液屏障破坏有关;43% 的 SDAVF 病变脊髓可见不连续强化,呈特征性“断层征”,表明未强化的脊髓具有良好的静脉回流系统。JABLAWI 等<sup>[13]</sup>报道,32.50%(13/40)的急性或亚急性 SDAVF 患者临床表现可快速恶化,其 T2WI 所见脊髓周围静脉迂曲较慢性 SDAVF 患者更为显著,可能与早期机体对脊髓静脉高压的代偿反应有关,使此类患者预后较好。赵洲洋等<sup>[14]</sup>认为通过迂曲、扩张的静脉的引流长度与预后呈正相关。SDAVF 解剖结构复杂,常规 MRI 难以确定瘘口位置,且瘘口常位于 T2WI 所见脊髓信号变化范围之外,与髓周扩张血管之间并无明显关联<sup>[14-15]</sup>。

SDAVF 所致迂曲脊髓静脉不甚明显时,常规 MRI 常显示不清而易致误诊。近年来动脉自旋标记(arterial spin labeling, ASL)常用于评估神经系统疾病。TAKAMATSU 等<sup>[16]</sup>采用 ASL 评估颅颈交界区 SDAVF,发现颅颈交界区异常高信号与引流静脉范围一致;经枕骨髁窝入路切除引流静脉治疗 SDAVF 后复查 ASL,术前异常高信号未见显示,提示 ASL 可用于 SDAVF 术后随访。

1.2 MR 血管成像 MR 血管成像(MR angiography, MRA)是 SDAVF 的重要辅助检查方法,但需较高的分辨率方能定位病灶,明确供血动脉来源及引流静脉范围。增强 MRA(contrast-enhanced MRA, CE-MRA)是目前临床较常用检查手段。LINDENHOLZ 等<sup>[17]</sup>观察 53 例 SDAVF 患者,均经数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)确诊,CE-MRA 均显示迂曲的脊髓血管,并于 81.13%(43/53)患者准确定位病灶。3.0T 场强下,动态 CE-MRA(dynamic CE-MRA, DCE-MRA)具有良好对比度及信噪比。ZHOU 等<sup>[15]</sup>报道,DCE-MRA 可于 73.3% 的 SDAVF 患者显示瘘口位置、供血动脉及引流静脉,瘘口常表现为脊髓静脉与供血动脉之间短小、模糊的异常强化;如未能明确显示瘘口,供血动脉与脊髓静脉之

间存在信号间断区常可提示瘘口。DCE-MRA 可提供多期图像,更易观察分流的血管,且高场强下成像更快,显示对比剂更为敏感。目前 MR 时间分辨对比剂动态显像(time resolved imaging of contrast kinetics, TRICKS)技术逐渐用于评价脊髓血管。部分学者<sup>[17-19]</sup>认为基于 TRICKS 技术的 CE-MRA 可检出并定位 SDAVF 的供血动脉及瘘口,指导进行脊髓 DSA 检查,且其结果与 DSA 所见的一致性较好。葛宇曦等<sup>[20]</sup>发现,CE-MRA 所示瘘口位置常位于引流静脉之上或下 2 个椎体层面范围,且瘘口近端引流静脉往往较远端更多、更粗、更迂曲,故供血动脉显示不清时,可通过观察引流静脉表现寻找瘘口位置。

目前 MRA 用于 SDAVF 术后随访的报道较少。MATHUR 等<sup>[21]</sup>报道,利用 CE-MRA 可评估 SDAVF 术后残留及复发,其敏感度和特异度分别为 100% 和 95%,提示 CE-MRA 有望作为 SDAVF 重要术后随访手段。但 CE-MRA 亦有其局限性:①扫描时间长、扫描范围有限,难以把握扫描期相,应用对比剂可致肾源性纤维化;②易将其他脊髓血管异常所致血管增粗迂曲误诊为 SDAVF;③不能直接显示脊髓病变;④分辨率有限,SDAVF 瘘口较小、血流速度较慢、供血动脉纤细时,其评估结果的准确性有待观察;⑤对骨骼敏感度较低,不利于通过计数椎体定位瘘口。

1.3 其他 MR 技术 三维稳态结构相干(three-dimensional constructive interference steady state, 3D-CISS)、三维可变翻转角快速自旋回波(three-dimensional sampling perfection with application-optimized contrasts using different flip-angle evolutions, 3D-SPACE)及三维快速稳态进动平衡(three-dimensional fast imaging employing steady-state acquisition, 3D-FIESTA)序列具备亚毫米体素分辨率及良好信噪比,能抑制脊髓血管中的血流信号,图像中脊髓血管与脑脊液的对比度良好,可减少脑脊液流动伪影,能无需对比剂显示脊髓畸形血管,且可进行多平面重建,有助于通过观察引流静脉走向而定位瘘口,近年来亦用于诊断 SDAVF。UETANI 等<sup>[22]</sup>发现,采用 3D-CISS 序列诊断 SDAVF 的准确率为 75%,且与脊髓 DSA 具有较好的一致性。KANNANTH 等<sup>[23]</sup>报道,针对 16 例经脊髓 DSA 确诊的 SDAVF 患者,3D-T2-SPACE 诊断 SDAVF 的准确率为 93.75%(15/16),2 名观察者定位瘘口的准确率均超过 80%。KRALIK 等<sup>[24]</sup>认为,3D-T2-SPACE 序列图像显示 SDAVF 所致脊髓表面血管迂曲更为明

显,而常规脂肪抑制 T2 序列观察脊髓水肿更具优势,3D-T2-SPACE 序列诊断 SDAVF 的特异度(92.3%)低于常规脂肪抑制 T2 序列(100%);该组基于 3D-T2-SPACE 序列定位瘘口位置的准确率仅为 33.33%(5/15),可能与样本量较少有关。KANNATH 等<sup>[25-26]</sup>认为 3D-T2-SPACE 联合 TRICKS 可提高诊断 SDAVF 的准确性。相比 CTA 及 CE-MRA,上述 MR 序列具有优势:①无需对比剂;②可重复扫描;③能同时显示脊髓病变。另一方面,上述序列图像空间分辨率高,易显示脊髓正常血管而干扰诊断,同时显示瘘口欠佳,存在椎管狭窄时,可能影响定位瘘口。

## 2 CT 血管造影

近年来,多排螺旋 CT 血管造影(CT angiography, CTA)逐渐代替单排 CTA,分辨率明显增高,可实现脊髓小血管结构的可视化。相比脊髓 CE-MRA,多排螺旋 CTA 扫描时间短,扫描范围大,价格低廉,可采用多种后处理技术观察供血动脉、引流静脉及瘘口,明确病变与周围骨性结构的关系;其不足之处在于图像软组织分辨率低、存在电离辐射及对对比剂副作用<sup>[27]</sup>。目前 4D-CTA 逐渐用于诊断脑血管疾病。有学者<sup>[28]</sup>以 4D-CTA 观察脊髓血管畸形,发现其可动态显示脊髓血管血流动力学改变,从而较全面地评估 SDAVF,但高剂量辐射及无法进行全脊柱扫描等缺点限制了其临床应用。

多排螺旋 CTA 诊断 SDAVF 的准确性略低于 CE-MRA<sup>[29-30]</sup>,可能原因是其组织对比度低,由于骨性结构遮挡,CTA 显示椎体附近的供血动脉及脊髓根静脉欠佳,易致误诊。脊髓 CTA 评估脊髓血管畸形术后是否存在病灶残留及复发的敏感度为 90.2%、特异度为 84.6%;联合常规 MRI 能提高其诊断特异度(98.1%)<sup>[31]</sup>。脊髓 CTA 亦可用于 SDAVF 术后评估,并在一定程度上替代 DSA 检查<sup>[31]</sup>。

## 3 DSA

DSA 是目前诊断脊髓血管疾病、评估疗效及判断复发的金标准,可用于全面评估 SDAVF,包括瘘口位置、数目、形态、供血动脉及引流静脉范围;SDAVF 典型 DSA 表现为椎管内扩张、迂曲的血管,椎间孔处存在血流较慢的动静脉瘘口,由脊髓根动脉硬膜支供血,引流静脉通过脊髓根静脉向脊髓表面引流并迂曲、扩张。脊髓 DSA 有创,操作难度大、耗时长,辐射剂量大,常忽略一些微小瘘口及多瘘口,且存在一定并发症,故不能作为临床诊断 SDAVF 的首选方法。部分 SDAVF 动脉粥样硬化或血管较纤细,在某些节段性

动脉插管困难,需经多次 DSA 检查才能确诊;脊髓 DSA 可使约 2.8% 患者脊髓静脉扩张、充血,临床症状明显加重<sup>[3]</sup>。迄今为止脊髓 DSA 仍是治疗 SDAVF 前必不可少的检查,临床常在 DSA 检查前采集脊髓 CE-MRA 及 CTA,以观察瘘口大概位置,便于 DSA 术中于瘘口同侧及对侧平面上或下 2 个椎体范围内进行超选择动脉插管,评估瘘口及邻近血管结构。

3D-DSA 是 DSA 技术、旋转血管造影技术及计算机三维图像处理技术相结合的产物,现已逐渐用于临床,相比常规 DSA 能够多方位、多角度观察瘘口、供血动脉及引流静脉,提高诊断准确性。

## 4 小结与展望

SDAVF 致残率较高,早期诊断及治疗可改善预后<sup>[32]</sup>。临床疑诊 SDAVF 时,采用脊髓常规 MRI 联合 3D-CISS(3D-SPACE 或 3D-FIESTA)序列能观察是否存在脊髓水肿及畸形血管,而后行 CE-MRA 或 CTA 可评估瘘口位置,为 DSA 检查提供指导,以减少不良反应。脊髓 3D-CISS、3D-SPACE 及 3D-FIESTA 序列可显示脊髓异常血管,用于定位瘘口则仍需足够的影像学诊断经验,其能否代替 CE-MRA 或 CTA 诊断 SDAVF、定位瘘口及术后评估尚待进一步研究。

## [参考文献]

- [1] KOCH C. Spinal dural arteriovenous fistula [J]. *Curr Opin Neurol*, 2006,19(1):69-75.
- [2] JENG Y, CHEN D Y, HSU H, et al. Spinal dural arteriovenous fistula: Imaging features and its mimics [J]. *Korean J Radiol*, 2015,16(5):1119-1131.
- [3] DONGHAI W, NING Y, PENG Z, et al. The diagnosis of spinal dural arteriovenous fistulas [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013,38(9):E546-E553.
- [4] SINGH R, DESHMUKH N, LALLA R, et al. Syringomyelia associated with spinal dural arteriovenous fistula: Clinical and radiological improvement after embolization [J]. *Neurointervention*, 2020,15(3):140-143.
- [5] JABLAWI F, MULL M. Double spinal dural arteriovenous fistulas [J]. *J Neuroradiol*, 2019,46(3):168-172.
- [6] GOYAL A, CESARE J, LU V M, et al. Outcomes following surgical versus endovascular treatment of spinal dural arteriovenous fistula: A systematic review and meta-analysis [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2019,90(10):1139-1146.
- [7] SHIMIZU K, TAKEDA M, MITSUHARA T, et al. Asymptomatic spinal dural arteriovenous fistula: Case series and systematic review [J]. *J Neurosurg Spine*, 2019,31(5):733-741.
- [8] RONALD A A, YAO B, WINKELMAN R D, et al. Spinal dural

- arteriovenous fistula: Diagnosis, outcomes, and prognostic factors[J]. *World Neurosurg*, 2020(144):e306-e315.
- [9] JABLAWI F, SCHUBERT G A, DAFOTAKIS M, et al. Long-term outcome of patients with spinal dural arteriovenous fistula: The dilemma of delayed diagnosis[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2020, 41(2):357-363.
- [10] HUNT R, ROBERTS R M, MORTIMER A M. Spinal dural arteriovenous fistula: Delay to radiological diagnosis and sources of radiological error[J]. *Clin Radiol*, 2018, 73(9):811-835.
- [11] YEN P P, RITCHIE K C, SHANKAR J J. Spinal dural arteriovenous fistula: Correlation between radiological and clinical findings[J]. *J Neurosurg Spine*, 2014, 21(5):837-842.
- [12] ZALEWSKI N L, RABINSTEINA A, BRINJIKJI W, et al. Unique gadolinium enhancement pattern in spinal dural arteriovenous fistulas [J]. *JAMA Neurology*, 2018, 75 (12): 1542-1545.
- [13] JABLAWI F, MULL M. The clinical value of venous drainage in patients with spinal dural arteriovenous fistula[J]. *J Neurol Sci*, 2019(397):50-54.
- [14] 赵洲洋, 佟志勇, 梁传声, 等. 硬脊膜动静脉瘘治疗预后相关因素分析——一种新的手术预后评分系统[J]. *国际神经病学神经外科学杂志*, 2019, 46(5):475-479.
- [15] ZHOU G, LI M H, LU C, et al. Dynamic contrast-enhanced magnetic resonance angiography for the localization of spinal dural arteriovenous fistulas at 3T[J]. *J Neuroradiol*, 2017, 44 (1):17-23.
- [16] TAKAMATSU S, SUZUKI K, MURAKAMI Y, et al. Usefulness of arterial spin labeling in the evaluation for dural arteriovenous fistula of the craniocervical junction [J]. *Radiol Case Rep*, 2021, 16(7):1655-1659.
- [17] LINDENHOLZ A, TERBRUGGEK G, van DIJK J M, et al. The accuracy and utility of contrast-enhanced MR angiography for localization of spinal dural arteriovenous fistulas: The Toronto experience[J]. *Eur Radiol*, 2014, 24(11):2885-2894.
- [18] SAINDANE A M, BODDU S R, TONG F C, et al. Contrast-enhanced time-resolved MRA for pre-angiographic evaluation of suspected spinal dural arterial venous fistulas[J]. *J Neurointerv Surg*, 2015, 7(2):135-140.
- [19] GROSSBERG J A, HOWARD B M, SAINDANE A M. The use of contrast-enhanced, time-resolved magnetic resonance angiography in cerebrovascular pathology[J]. *Neurosurg Focus*, 2019, 47(6):E3.
- [20] 葛宇曦, 徐雷鸣, 孙建忠, 等. 三维动态增强 MR 血管成像判断硬脊膜动静脉瘘瘘口位置的作用[J]. *中华放射学杂志*, 2017, 51 (8):621-624.
- [21] MATHUR S, SYMONS S P, HUYNH T J, et al. First-pass contrast-enhanced MR angiography in evaluation of treated spinal arteriovenous fistulas: Is catheter angiography necessary?[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2017, 38(1):200-205.
- [22] UETANI H, HIRAI T, KITAJIMA M, et al. Additive value of 3T 3D CISS imaging to conventional MRI for assessing the abnormal vessels of spinal dural arteriovenous fistulae[J]. *Magn Reson Med Sci*, 2018, 17(3):218-222.
- [23] KANNANTH S K, ALAMPATH P, ENAKSHY RAJAN J, et al. Utility of 3D SPACE T2-weighted volumetric sequence in the localization of spinal dural arteriovenous fistula[J]. *J Neurosurg Spine*, 2016, 25(1):125-132.
- [24] KRALIK S F, MURPH D, MEHTA P, et al. Diagnosis of spinal dural arteriovenous fistula using 3D T2-weighted imaging [J]. *Neuroradiology*, 2017, 59(10):997-1002.
- [25] KANNATH S K, MANDAPALU S, THOMAS B, et al. Comparative analysis of volumetric high-resolution heavily T2-weighted MRI and time-resolved contrast-enhanced MRA in the evaluation of spinal vascular malformations [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2019, 40(9):1601-1606.
- [26] APFELBECK M, CHALOUPKA M, SCHLENKER B, et al. Follow-up after focal therapy of the prostate with high intensity focused ultrasound (HIFU) using contrast enhanced ultrasound (CEUS) in combination with MRI image fusion [J]. *Clin Hemorheol Microcirc*, 2019, 73(1):135-143.
- [27] 石强, 高思佳, 徐克, 等. 64 层螺旋 CT 血管成像定位诊断硬脊膜动静脉瘘供血动脉及瘘口的应用初探[J]. *中国医学影像技术*, 2006, 22(10):1532-1534.
- [28] YAMAGUCHI S, TAKEMOTO K, TAKEDA M, et al. The position and role of four-dimensional computed tomography angiography in the diagnosis and treatment of spinal arteriovenous fistulas[J]. *World Neurosurg*, 2017(103):611-619.
- [29] ODA S, UTSUNMIYA D, HIRAI T, et al. Comparison of dynamic contrast-enhanced 3T MR and 64-row multidetector CT angiography for the localization of spinal dural arteriovenous fistulas[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2014, 35(2):407-412.
- [30] 苏宇, 时博, 高思佳. CTA 与 MRA 在诊断脊髓血管畸形中的价值及其临床应用[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2015, 26 (4): 267-270.
- [31] 李大胜, 黄河, 王娜娜, 等. CT 血管造影和 MRI 在脊髓血管畸形术后随访中的价值[J]. *中国医疗设备*, 2021, 36(2):69-72.
- [32] BRINJIKJI W, NASR D M, MORRIS J M, et al. Clinical outcomes of patients with delayed diagnosis of spinal dural arteriovenous fistulas [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2016, 37 (2):380-386.