

4D-DSA 在硬脑膜动静脉瘘诊治中的应用

张 敏 杨 铭 潘 力 秦 杰 黄 河 赵曰圆 向伟楚 吕福群 马廉亭 野路明

【摘要】目的 探讨 4D-DSA 在硬脑膜动静脉瘘(DAVF)诊断和治疗中的应用价值。方法 回顾性分析 2018 年 3 月到 2019 年 10 月采用 4D-DSA 诊断和指导血管内栓塞治疗的 10 例 DAVF 的临床资料及影像学资料,对其血管构筑学进行系统分析,并通过彩色血流全循环成像(iFlow)技术进行对比分析。结果 10 例病人 4D-DSA 均可以清晰看到 DAVF 的瘘口(微孔复合体)、血管构筑和血流动力学流向,完成 Cognard 分型,并在 4D-DSA 引导下行血管内栓塞治疗。栓塞治疗后,10 例病人 iFlow 结果显示患侧颈内动脉分叉部、大脑中动脉分叉部、窦汇区的造影剂达峰时间较术前明显缩短( $P<0.05$ )。结论 4D-DSA 不仅可以对 DAVF 的血管构筑学、血流动力学有直观地理解,完成其分型和分类,并且可优化手术治疗方案。

【关键词】硬脑膜动静脉瘘;四维数字减影血管造影;血管构筑学;血流动力学;血管内栓塞

【文章编号】1009-153X(2020)03-0129-05 【文献标志码】A 【中国图书资料分类号】R 743.9; R 815.2

Application of 4D-DSA imaging to diagnosis and treatment of dural arteriovenous fistulas

ZHANG Min<sup>1</sup>, YANG Ming<sup>1,2</sup>, PAN Li<sup>2</sup>, QIN Jie<sup>2</sup>, HUANG He<sup>2</sup>, ZHAO Yue-yuan<sup>2</sup>, XIANG Wei-chu<sup>2</sup>, LV Fu-quan<sup>2</sup>, MA Lian-ting<sup>2</sup>, YE Lu-ming<sup>2</sup>. 1. School of Medicine, Wuhan University of Sciences and Technology, Wuhan 430065, China; 2. Department of Neurosurgery, General Hospital of Central Theater Command, PLA, Wuhan 430070, China

【Abstract】Objective To explore the value of 4D-DSA to the diagnosis and treatment of dural arteriovenous fistulas (DAVF). Methods The clinical data and imaging data of 10 patients with DAVF diagnosed using 4D-DSA and treated with endovascular embolization under the guidance of 4D-DSA from March 2018 to October 2019 were analyzed retrospectively. The vascular architecture was systematically analyzed by 4D-DSA. The results of 4D-DSA were compared with the results of iFlow imaging. Results The 4D-DSA images of 10 patients clearly showed the fistulas (microporous complex), vascular structure and hemodynamic flow direction of DAVF. The Cognard classification was completed by 4D-DSA. The endovascular embolization was performed successfully in all the patients under the guidance of 4D-DSA. After embolization, the iFlow imaging results of 10 patients showed that the times to peak of contrast medium in the affected internal carotid artery bifurcation, middle cerebral artery bifurcation, and sinus confluence area were significantly lower than before surgery ( $P<0.05$ ). Conclusions The 4D-DSA can intuitively understand the vascular architecture and hemodynamics of DAVF, complete the typing and classification of DAVF, and optimize the surgical treatment plan for DAVF.

【Key words】Dural arteriovenous fistulas; Vascular architecture; Four-dimensional angiography; Haemodynamics; Endovascular embolization

硬脑膜动静脉瘘(dural arteriovenous fistulas, DAVF)是一种获得性疾病<sup>[1]</sup>,是发生在硬脑膜组织及其附属物大脑镰和小脑幕的一类异常动静脉直接沟通的血管性疾病<sup>[2]</sup>,颅内供血动脉直接与颅内静脉窦沟通,也称为硬脑膜动静脉畸形。DAVF 自愈罕见,往往需要外科治疗,以闭塞瘘口为原则,血管内栓塞为首选治疗方法,可采用动脉入路或静脉入路,主要闭塞瘘口、近瘘口的供血动脉及静脉,静脉窦禁

忌栓塞。术前对 DAVF 瘘口、血流动力学的仔细评估,对选择合适的治疗方法尤为重要<sup>[3]</sup>。DSA 被认为是诊断 DAVF 的“金标准”<sup>[4]</sup>。常规 2D-DSA 可以清晰显示 DAVF 的供血动脉、瘘口、引流静脉等特征,但是由于血管重叠等可导致 2D-DSA 对血管结构分辨不清,尤其对多支动脉供血、瘘口多的复杂的 DAVF,更难清楚显示 DAVF 的血管构筑。3D-DSA 与 4D-DSA 是立体成像,其中 3D-DSA 为血管造影某单一时间点的静态立体成像,4D-DSA 是血管造影的全程(动脉期、静脉期、静脉窦期)连续动态立体成像。4D-DSA 可以动态连续显示脑血管造影的全过程立体影像<sup>[5]</sup>。2017 年, Ognard 等<sup>[6]</sup>首先报道 4D-DSA 在脑动静脉畸形中的应用。本文探讨 4D-DSA 在 DAVF 诊治中应用价值。

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2020.03.001  
作者单位: 430065 武汉, 武汉科技大学医学院(张 敏、杨 铭);  
430070 武汉, 中国人民解放军中部战区总医院神经外科(张 敏、  
杨 铭、潘 力、黄 河、秦 杰、赵曰圆、向伟楚、吕福群、马廉亭、野  
路明)  
通讯作者: 杨 铭, E-mail: yangming3060@sina.com

1 资料与方法

1.1 病例选择标准 纳入标准:①年龄≥18 岁;②临床诊断明确的 DAVF;③4D-DSA、iFlow 影像资料及临床资料齐全。排除标准:①未行 4D-DSA 检查;②未接受血管内治疗;③有颅内其他血管病影响病人血流动力学。

1.2 一般资料 2018 年 3 月至 2019 年 10 月收治符合上述标准的 DAVF 共 10 例,其中男 5 例,女 5 例;年龄 33~69 岁,平均 54 岁。

1.3 影像学检查 ①4D-DSA 检查:先行 DSA 检查明确诊断 DAVF,然后使用德国西门子公司 Artis zee biplane 双平板 DSA 机自带的 System syngo X-WP 四维后处理工作站进行影像重建。经颈内动脉(造影剂注射速度为 3 ml/s,总量 21 ml)、颈外动脉(造影剂注射速度为 2 ml/s,总量 14 ml)、椎动脉(造影剂注射速度为 2 ml/s,总量 14 ml)进行 DSA 检查,选用“12 s DSA”4D 模式。采集到的影像被自动传输至四维工作站进行后处理,重建 4D-DSA 影像,进一步从全方位、多角度分析病变的血管构筑及测量治疗前后的血流动力学参数。

1.4 彩色血流全循环成像(iFlow) 使用德国西门子公司 Artis zee biplane 双平板 DSA 机,经颈内动脉(造影剂注射速度为 6 ml/s,总量 9 ml)及椎动脉(造影剂注射速度为 5 ml/s,总量 7 ml)造影。采用 5F cordis 造影管,颈内动脉造影时,将导管头端置于第二颈椎椎体水平;椎动脉造影时,将导管头端置于第七颈椎椎体水平。注射压力选取 260 PSI,固定好头部,造影前后由麻醉医生控制血压、心率在正常范围。将要显示的 2D-DSA 利用 iFlow 软件进行处理,通过预设达峰点和区域的测量来显示感兴趣点的时间-密度曲线图,曲线上升表示造影剂充盈阶段,下降表示排空阶段,其峰值代表造影剂达峰时间(time to peak, TTP)。感兴趣区选取颈内动脉分叉部、大脑中动脉分叉部、基底动脉末端、窦汇区。

1.5 治疗方法 ①血管内治疗,全麻后,采用 Seldinger 技术穿刺右股动脉置入 6F 血管鞘,全身肝素化,同

时将 4D-DSA 重建图像投影至显示屏,在 4D-DSA 路图监视下将微导管置于供血动脉远端接近瘘口处,冲洗微导管后,应用 18% Onyx 胶栓塞。当弥散至皮层静脉或向供血动脉返流时停止注胶。随后以相同的方法栓塞其他供血动脉,直至将可栓塞瘘口全部栓塞,术后常规对症支持治疗<sup>[7]</sup>。②伽玛刀治疗,在 4D-DSA 引导下准确定位瘘口及供血动脉,应用伽玛刀照射瘘口及供血动脉,剂量由伽玛刀医师常规给予,术后行对症支持治疗。

1.6 统计学方法 应用 SPSS 19.0 统计分析;定量资料以  $\bar{x}\pm s$  表示,采用 *t* 检验;以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同部位治疗前后 TTP 变化 颈内动脉分叉部、大脑中动脉分叉部、窦汇区治疗后 TTP 明显缩短(*P*<0.05),基底动脉末端无明显变化(*P*>0.05)。见表 1。

2.2 影像结果 所有病人 4D-DSA 可以清晰显示不同来源的供血动脉、引流静脉和如网状的瘘口。iFlow 测得的治疗后 TTP 明显缩短,表明治疗有效,符合预期结果。4D-DSA 显示,动脉期显影后经瘘口进入静脉期显影时,出异常增粗的引流静脉,提示为动脉与静脉连接处,即为瘘口部位(图 1),也有弥散如网状的(微孔复合体,图 2),瘘口均在硬脑膜上。

2.3 临床治疗结果 10 例均行血管内栓塞治疗,其中 9 例瘘口完全栓塞,术后症状消失,随访 6 个月,无复发;1 例术后瘘口仍存在,症状明显缓解,进一步行伽玛刀治疗,6 个月后继续第二次伽玛刀治疗。

3 讨论

3.1 DAVF 的影像结构分析 DAVF 的瘘口位于硬脑膜上,呈肉眼不可见的微孔状,如果瘘口在静脉窦壁上,血流直接流入窦;如果瘘口在非静脉窦的硬脑膜上,则动脉血流经瘘口后进入硬膜上引流静脉再入窦<sup>[4]</sup>。但也有文献报道瘘口经皮层静脉流入窦<sup>[7]</sup>,但目前缺乏动物实验、病理证据,仅是影像学表现不足以说明引流静脉为皮层静脉。DAVF 在蛛网膜

表 1 10 例硬脑膜动静脉瘘血管内治疗前后造影剂达峰时间变化(s)

评估时间	检测部位			
	颈内动脉分叉部	大脑中动脉分叉部	基底动脉末端	窦汇区
术前	3.26±0.58	7.64±1.22	3.08±0.55	11.42±0.55
术后	2.75±0.33*	2.84±0.34*	3.04±0.56	8.86±1.50*

注:与术前相应值比,\* *P*<0.05

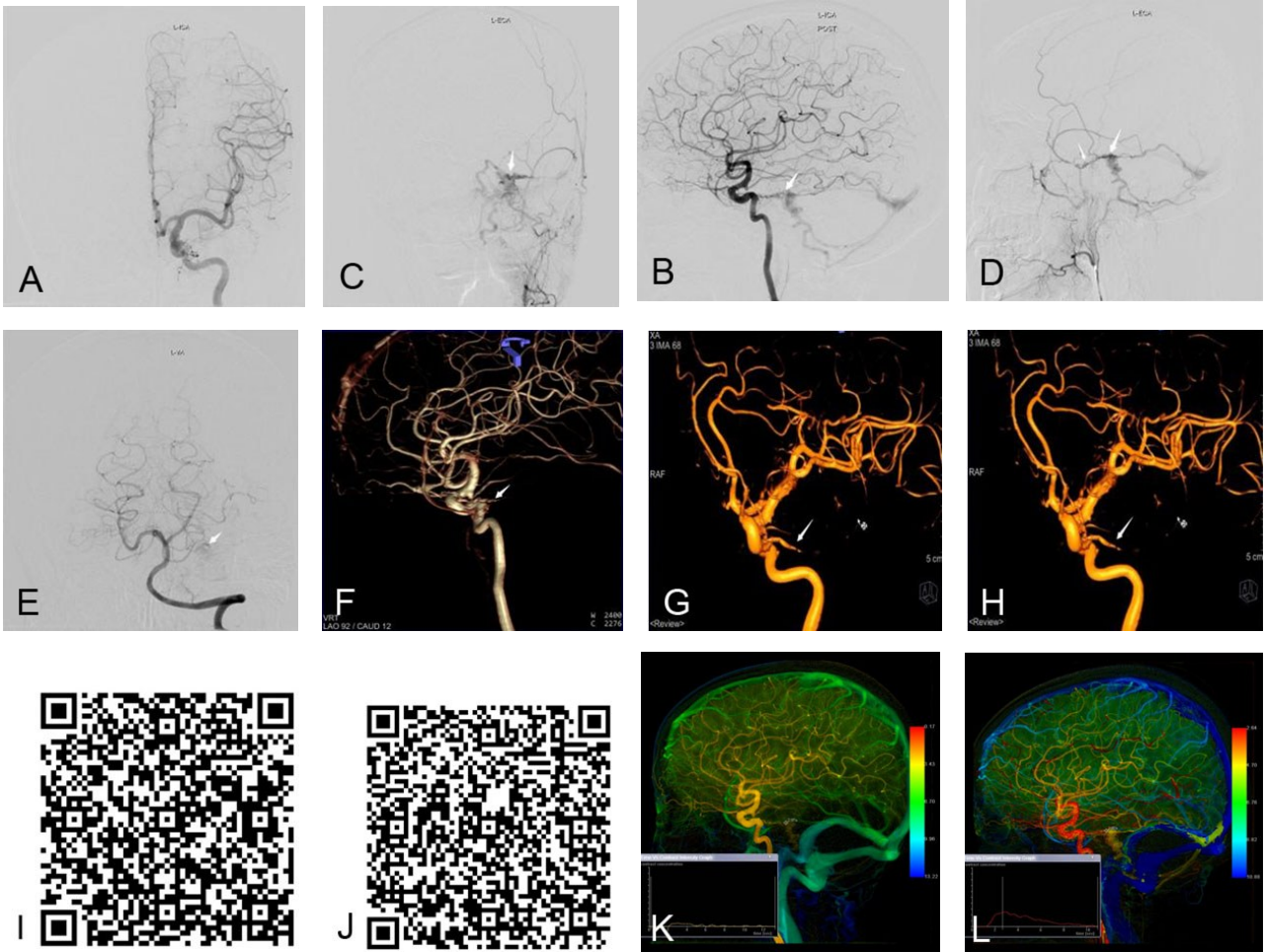


图1 Cognard分型Ⅱa+b型硬脑膜动静脉瘘血管内栓塞治疗前后影像

A、B. 术前左侧颈内动脉2D-DSA正侧位,白色↑示瘘口;C、D. 术前左侧颈外动脉2D-DSA,白色↑示瘘口;E. 术前左侧椎动脉2D-DSA,白色↑示瘘口;F. 术前左侧颈内动脉3D-DSA,白色↑示眼动脉分支供血;G、H. 术前4D-DSA,白色↑示眼动脉分支供血和瘘口(微孔复合体);I、J. 术前3D-DSA影像和4D-DSA影像;K. 术前iflow成像;L. 术后iflow成像

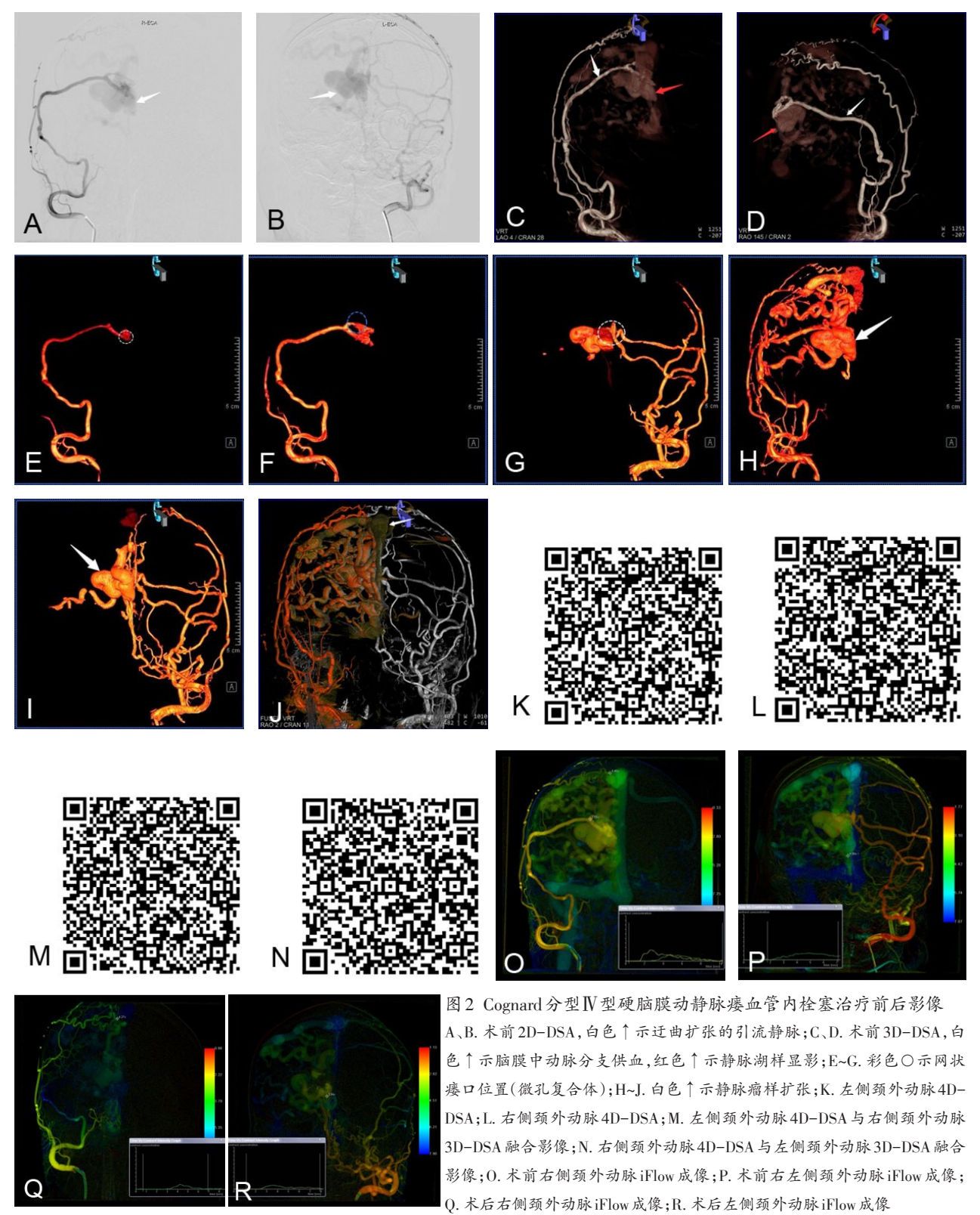
下腔、软脑膜及脑组织内没有原发性病变,影像学表现为增粗的软脑膜静脉,应该是继发的,因为DAVF多伴有静脉窦血栓形成,导致颅内血流不能经正常途径回流到颈内静脉,而被迫从皮层静脉及脑深部静脉经颅底静脉丛、海绵窦等部位经眼上静脉逆行回流而导致影像学可见软脑膜下静脉增粗、扩张、迂曲等表现,实际上并非DAVF的原发病变,是继发性病理改变。关于DAVF的确切病因、发病机制、病理等,目前尚不完全清楚,有待进一步研究。

3.2 DSA对DAVF诊治的新认识 DSA是诊断DAVF的金标准<sup>[5]</sup>,准确的判断DAVF瘘口及其血流动力学的方法有2D-DSA、动态DSA、3D-DSA、彩色超声多普勒、术中荧光造影等,但彩色超声多普勒与术中荧光造影不适用,动态DSA及3D-DSA静态影像,对瘘口及血流动力学判断受角度、方位限制使影像重叠。只有4D-DSA才能从全方位、多角度准确判断

DAVF的瘘口部位、数量、主要瘘口等结构并测定血流动力学参数,进行精准诊断并指导治疗,是目前诊断DAVF的金标准。3D-DSA是脑血管造影某一时间点的静态立体成像,而4D-DSA是脑血管造影全程(全循环、动脉期、静脉窦期)动态连续的立体成像<sup>[5]</sup>,因此4D-DSA可清晰显示DAVF的供血动脉、瘘口直接入窦或经引流静脉入窦,清晰显示解剖结构的同时,也可观察到其血流动力学变化。

3.3 4D-DSA在DAVF诊治中的价值 DSA是诊断脑血管病的金标准<sup>[8-10]</sup>,2D-DSA、动态DSA与3D-DSA对脑血管病的诊断有了很大提高,但仍受方位、角度的影响,使复杂的血管结构不能精确分辨看清楚,而且不能提供血流动力学参数。而4D-DSA可提供脑血管造影全程连续动态立体影像,可从全方位、多角度精准观察分辨看清血管病变的解剖结构,分清DAVF的供血动脉、瘘口部位和数目、引流静脉等,





提高精准诊断水平并指导实施选择治疗入路及材料;同时,可测定供血动脉起始至瘘口循环时间、瘘口至静脉窦循环时间,分析治疗前后血流动力学变化。

3.4 DAVF 治疗方法选择 DAVF 的治疗方法包括保

守治疗、显微手术、介入及立体放射治疗等。其治疗原则为永久、彻底地闭塞位于静脉窦内的动静脉全部瘘口,否则仅能暂时缓解症状。开放手术电灼或栓塞硬脑膜上瘘口,原则上对瘘口后引流流入窦的静脉不需要手术电灼或栓塞,而瘘口要闭塞彻底,阻

断了血流,引流静脉断绝了血液来源,自然会发生血栓形成而闭塞,因此手术处理引流静脉是多余的,而且可能造成副损伤,正如 DAVF 不需要处理脊髓表面引流静脉一样。由于 DAVF 的供血动脉复杂,多数瘘口位于颅内深在部位,介入具有较大优势,可经动脉入路或静脉入路。但部分病人供血动脉较多,常需要多次超选择性造影,使辐射量及手术时间增加;或由于供血动脉过于细小迂曲,使得无法进行超选择性选造影,而 4D-DSA 可减少超选择性造影次数,减少手术时间及辐射剂量。本文 10 例均在 4D-DSA 技术指导下进行栓塞治疗,效果满意,术后无明显并发症,证明 4D-DSA 技术用以指导临床治疗,其可操作性强,临床效果满意。

总之,传统的单一 2D-DSA、3D-DSA 对于多支供血动脉、多个瘘口的 DAVF 缺乏全面的辨识度,提供的血管构筑学和血流动力学信息相对缺乏。而将具有多支动脉供血的 DAVF 进行 4D-DSA 影像重建,不仅可以对病变的血管构筑学、血流动力学有直观地理解,完成 DAVF 的分型和分类,并且可规避存在的手术风险,优化手术治疗方案。

【参考文献】

[1] 李平,罗靖,赵亮,等. 血管内介入治疗硬脑膜动静脉瘘 7 例分析[J]. 安徽医学,2016,37(12):1516-1519.

[2] Guo Y, Ou SX, Qian M, *et al.* Dual-energy CT angiography for the diagnosis of intracranial dural arteriovenous fistula [J]. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8(5): 7802-7808.

[3] Ougoukas VI, Coulin CJ, Shah M, *et al.* Benefits and limitations of image guidance in the surgical treatment of intracranial dural arteriovenous fistulas [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2006, 148(2): 145-153.

[4] 马廉亭. 神经系统某些疾病名称及命名的商榷[J]. 中国临床神经外科杂志,2019,24(10):577-582.

[5] 马廉亭,谢天浩,徐召溪. 脑动静脉畸形、硬脑膜动静脉瘘与软脑膜动静脉瘘的鉴别[J]. 中国临床神经外科杂志,2019,24(6):321-323.

[6] Ognard J, Magro E, Caroff J, *et al.* A new time-resolved 3D angiographic technique (4D DSA): description, and assessment of its reliability in Spetzler-Martin grading of cerebral arteriovenous malformations [J]. *J Neuroradiol*, 2018; 45(3): 177-185.

[7] 盛柳青,李俊,李国栋,等. 双血管融合技术在硬脑膜动

静脉诊断和手术计划中的应用[J]. 中华神经外科杂志, 2015,31(8):768-771.

[8] Li J, Wan F, Chen G, *et al.* The utility of angiographic CT in the diagnosis and treatment of neurovascular pathologies in the vicinity of cranial base [J]. *Neurosurg Rev*, 2011, 34(2): 243-248.

[9] Hiu T, Kitagawa N, Morikawa M, *et al.* Efficacy of dynaCT digital angiography in the detection of the fistulous point of dural arteriovenous fistulas [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2009, 30(5): 487-491.

[10] Orth RC, Wallace MJ, Kuo MD. C-arm cone-beam CT: general principles and technical considerations for use in interventional radiology [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2008, 19: 814-820.

(2020-02-24 收稿)

【专家评论】

数字减影血管造影(Digital Substraction Angiography, DSA)是神经外科公认诊断脑血管病的金标准,但是随着科学技术的进步,这一诊断技术也在不断完善,如出现了 2D-DSA、动态 DSA、3D-DSA 等。

近年来, Siemens 公司又推出 4D-DSA 软件,在血管造影过程中,把时间、空间时像在 DSA 造影中应用,通过造影后重建影像,给出了造影全过程(动脉期、静脉期与静脉窦期)的三维连续全程动态成像,并可进行血流动力学检测。4D-DSA 给出的空间和时间相结合的分辨率高于 MRA、CTA、4D-CTA、2D-DSA 及 3D-DSA 成像,可以在影像的任何时间和任何空间角度,精准清晰观察供血动脉、畸形血管团结构,是否含有血流相关性动脉瘤、静脉瘤与直接的动静脉瘘,引流静脉数目、粗细等血管解剖结构,为脑 AVM 提供精准诊断并指导治疗。本项新技术,除用于脑 AVM 外,还可应用于脑 DAVF、TCCF、脑 PAVF、脊髓血管疾病、缺血性脑血管病闭塞血管开通后血流动力学变化研究,以及脑血供丰富肿瘤的血流动力学研究。

本期发表的两篇中国人民解放军中部战区总医院神经外科在脑 DAVF 与脑 AVM 的临床应用研究《4D-DSA 在硬脑膜动静脉瘘诊治中的应用》与《4D-DSA 在脑动静脉畸形影像学评估中的应用》,研究结果初步显示了 4D-DSA 影像对显示病变的精确血管解剖结构、判断瘘口、供血动脉、引流静脉及探讨血流动力学等有较强的临床价值。此类研究国内初步报道,特推荐给同行,希望为开展脑血管病研究提供参考,以进一步提高我国脑血管病的诊断、治疗水平。

——马廉亭