

· 论 著 ·

4D-DSA 在脑动静脉畸形影像学评估中的应用

闫林海 潘 力 杨 铭 石 纪 沈春发 黄 河 秦 杰 马廉亭

【摘要】目的 探讨 4D-DSA 在脑动静脉畸形(AVM)影像学评估中的临床应用价值。**方法** 回顾性分析 2018 年 1 月至 2019 年 1 月收治的 37 例脑 AVM 的临床资料和影像学资料。所有病人均接受 2D-DSA 及 4D-DSA 序列采集,并在西门子 DSA 机 4D 工作站中进行 4D-DSA 影像重建。以 2D-DSA、3D-DSA 影像结果定义为标准诊断结果,2 位具有副主任医师职称并且未参与手术治疗的神经外科介入医师对 4D 连续动态三维影像分别独立进行评估。**结果** 37 例中,SM 分级Ⅲ级 26,Ⅳ级 9 例;Ⅴ级 2 例。畸形血管团位于额叶 8 例、颞叶 9 例、顶叶 3 例、枕叶 3 例、小脑 4 例,其余 10 例畸形畸形团分布 2 个脑叶以上。4D-DSA 在畸形血管团的评估中均与标准诊断结果均具有较强的一致性(一致性系数 ≥ 0.77)。在复杂畸形团评估中,4D-DSA 对畸形血管团的血管结构显像更加精准。同时,4D-DSA 对畸形团血流动力学评估结果与 iFlow 成像技术一致。**结论** 4D-DSA 与传统的 2D-DSA 及 3D-DSA 相比,对脑 AVM 的血管构筑学,尤其是对病灶及血流动力学具有更清晰精准的显示,更能帮助提高脑 AVM 的诊治水平。

【关键词】 脑动静脉畸形;血管构筑;血流动力学;4D-DSA;iFlow

【文章编号】 1009-153X(2020)03-0134-04 **【文献标志码】** A **【中国图书资料分类号】** R 739.42; R 651.1⁺

Application of 4D-DSA to imaging evaluation of cerebral arteriovenous malformations

YAN Lin-hai¹, PAN Li^{1,2}, YANG Ming², SHI Ji², SHEN Chun-fa², HUANG He², QIN Jie², MA Lian-ting². 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 in the imaging evaluation of cerebral arteriovenous malformation (AVM). **Methods** The clinical data and imaging data of 37 patients with cerebral AVM treated from January, 2018 to January, 2019 were retrospectively analyzed. All the patients received 2D-DSA and 4D-DSA sequence examination, and the 4D-DSA image reconstruction was performed in Siemens DSA machine 4D workstation. The 2D-DSA and 3D-DSA imaging results were defined as the standard diagnostic results. The continuous dynamic 4D images were evaluated by 2 neurosurgical interventional physicians with titles of associate chief physicians who were not involved in surgical treatment. **Results** Of 37 patients, 26 were SM grade Ⅲ, 9 grade Ⅳ, and 2 grade Ⅴ. Malformed vascular masses were located in the frontal lobe of 8 patients, the temporal lobe of 9, the parietal lobe of 3, the occipital lobe of 3 and the cerebellum of 4, and distributed in more than 2 cerebral lobes of 10. 4D-DSA had a strong consistency with the standard diagnostic results in the evaluation of malformed vascular masses (coefficient of consistency ≥ 0.77). In the evaluation of complex malformations, 4D-DSA can more accurately show the vascular structure of malformed vascular masses. At the same time, the results of 4D-DSA's hemodynamic evaluation of deformed masses were consistent with iFlow imaging technology. **Conclusion** Compared with the traditional 2D-DSA and 3D-DSA, 4D-DSA has a clearer and more accurate display of the angiology of the cerebral AVM, especially the lesions and hemodynamics, which can help to improve the diagnosis and treatment of the cerebral AVM.

【Key words】 Cerebral arteriovenous malformations; Vascular architecture; Hemodynamics; 4D-DSA; iFlow

脑动静脉畸形(arteriovenous malformations, AVM)是脑动脉与静脉之间缺乏毛细血管过渡连接,使动脉与静脉之间直接相通,形成脑动静脉之间的短路,从而产生一系列的脑血液动力学上的紊乱^[1],呈高流量低阻力模式。这种异常的脑血管结构和脑血流改变可引起一系列认知功能障碍、神经功能缺

失、出血、癫痫等,甚至危及病人生命^[2],因此必须进行积极治疗。脑 AVM 的诊断和治疗一直以来都是神经外科的热点。目前,应用于诊断 AVM 的影像学方法包括 MRI、MRA、CT、CTA 及 DSA 等。至今,DSA 被认为是诊断脑 AVM 的金标准^[3]。但在临床诊治过程中,由于血管结构的重叠,通常需要使用动态 2D-DSA 及 3D-DSA 显示 AVM 的血管构筑学及血流动力学,但对复杂的 AVM 血管构筑全貌缺乏精确的了解^[4]。随着技术的进步,4D-DSA 技术于 2010 年开始应用于临床^[5],可提供脑血管造影全过程连续动态立体影像,对脑血管的结构,包括供血动脉、畸形血管

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2020.03.002

作者单位:430065 武汉,武汉科技大学医学院(闫林海、潘 力);
430070 武汉,中国人民解放军中部战区总医院神经外科(闫林海、潘力、杨 铭、石 纪、沈春发、黄 河、秦 杰、马廉亭)

通讯作者:潘 力,E-mail:plainfat@163.com

团(病灶内动脉瘤、静脉瘤及瘘结构)了解得更精准,并可进行血流动力学评估。4D-DSA是一种全新的成像技术^[6]。本文探讨4D-DSA在脑AVM影像学评估中的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 纳入标准:①DSA检查确诊为脑AVM;②接受2D-DSA、4D-DSA序列采集和3D-DSA、4D-DSA重建以及iFlow成像。排除标准:①影像学检查成像资料不理想;②临床资料收集不全。

2018年1月至2019年1月收治符合上述标准的脑AVM共37例,其中男25例,女12例;年龄7~59岁,平均(28.30±16.18)岁。37例中,Spetzler-Martin分级Ⅲ级26,Ⅳ级9例,Ⅴ级2例。畸形血管团位于额叶8例、颞叶9例、顶叶3例、枕叶3例、小脑4例,其余10例畸形畸形团分布2个脑叶以上。介入治疗12例,开颅显微手术切除3例,伽玛刀治疗14例,复合手术治疗2例,保守治疗6例。

1.2 影像检查方法 所有病人都采用2D-DSA及12 s 4D-DSA检查方案。选择双侧颈内动脉及双侧椎动脉造影,2D序列采用传统采集方式,4D序列采集时高压注射器的注射速率:颈内动脉为3 ml/s,总量21 ml;椎动脉为2.5 ml/s,总量为17.5 ml。压力均为300 kPa,注射时间7 s,采集时间12 s,造影剂不稀释,无X射线延迟^[7]。采集完毕,所有数据传输到后处理工作站进行3D、4D重建,同时应用iFlow影像测量选取点造影剂达峰时间(time to peak, TTP)。

1.3 评估方法 以2D-DSA、3D-DSA影像结果定义为标准诊断结果,2位具有副主任医师职称并且未参与手术治疗的神经外科介入医师对4D连续动态三维影像分别独立进行评估,具体评分项目包括Spetzler-Martin分级、供血动脉数目、引流静脉数目、巢内病变(直接的瘘、动脉瘤、静脉瘤),并计算分段血管及全程血流动力学时间。以颈动脉分叉部显影作为血流计时起点,以乙状窦显影消失作为计时终点,

两者差值即定义为脑动静脉循环时间。选择14例接受介入治疗病人患侧颈总动脉分叉部、颈内动脉分叉部、前交通动脉、大脑中动脉分叉部及乙状窦为感兴趣点,利用西门子公司iFlow软件测量各感兴趣点治疗前后造影剂TTP。

1.4 统计学分析 应用SPSS 19.0软件进行分析;定量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,采用 t 检验;采用weighted kappa、kendall、Cohen kappa方法进行一致性分析;以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一致性分析结果 两位评分者标准诊断结果包括畸形团Spetzler-Martin分级、供血动脉数量、合并巢内病变(动脉瘤、静脉瘤、瘘)、引流静脉数量等四个方面一致性系数最高为1,最低为0.874。两位评分者应用4D-DSA诊断与标准诊断结果一致性:Spetzler-Martin分级weighted kappa一致性系数均为1;供血动脉数量及引流静脉数量一致性kendall系数最低为0.917,最高为0.943;合并巢内病变一致性Cohen kappa系数最低为0.77,最高为0.893。

2.2 4D-DSA评估结果 37例中,单纯血管畸形31例;畸形血管团巢内合并血流相关性动脉瘤4例,合并瘘和血流相关性静脉瘤1例,合并血流相关性静脉瘤1例。介入治疗的14例术前脑动静脉循环时间5.57~10.24 s,平均(8.86±1.14)s;治疗后平均(9.32±1.01)s;治疗后动静脉总循环时间增加0.46 s。同时,iFlow成像技术测定治疗后感兴趣点TTP均显著增加($P<0.05$),而4D-DSA测定结果与iFlow无统计学差异($P>0.05$)。见表1。

2.3 典型病例分析

关于引流静脉数量的评估,两位评分者对1例评估结果均与标准诊断结果不一致。2D-DSA发现右侧大脑中动脉、脉络膜前动脉供血,畸形血管团经皮层静脉向后上经矢状窦、向前下经海绵窦、向后下经横窦引流。而4D-DSA发现向海绵窦引流的静脉

表1 14例脑动静脉畸形血管内治疗前后4D-DSA与iFlow测量循环时间比较(s)

评估方法	评估时间	颈总动脉分叉-颈内动脉分叉	颈内动脉分叉-前交通动脉	颈内动脉分叉-大脑中动脉分叉	前交通动脉-乙状窦	总循环时间
4D-DSA	治疗前	0.12±0.03	0.26±0.07	0.28±0.08	4.99±0.78	8.86±1.14
	治疗后	0.13±0.03*	0.35±0.09*	0.36±0.09*	5.61±0.81*	9.32±1.01*
iFlow	治疗前	0.11±0.03	0.28±0.09	0.28±0.09	5.04±0.78	8.89±1.15
	治疗后	0.14±0.04*	0.38±0.10*	0.38±0.09*	5.62±0.81*	9.36±0.99*

注:与术前相应值比,* $P<0.05$

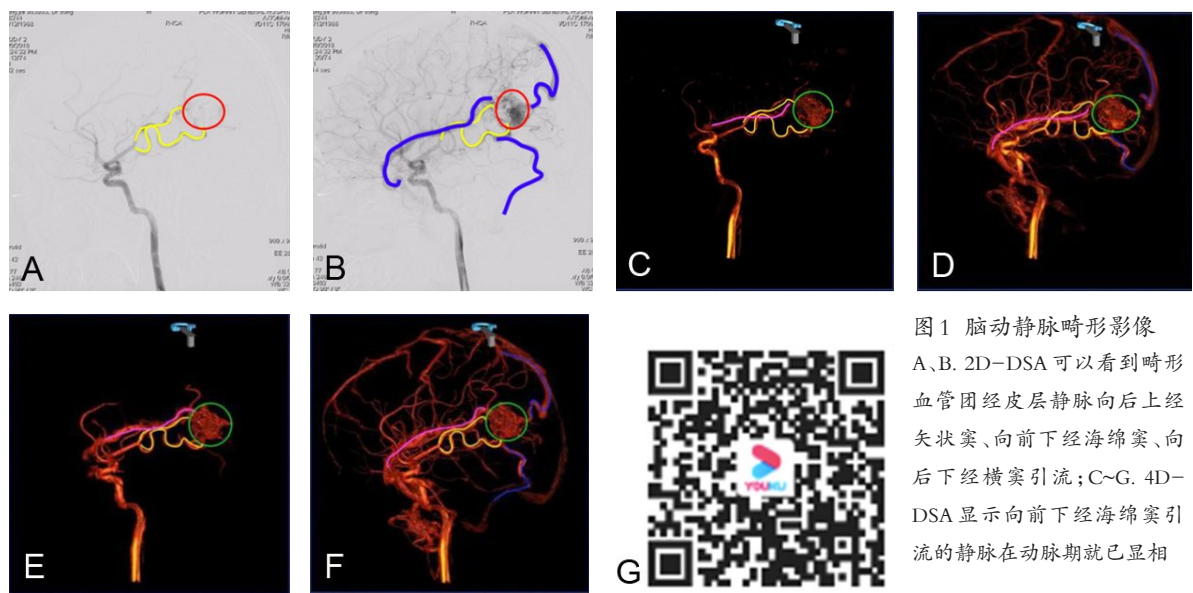


图1 脑动静脉畸形影像
A、B. 2D-DSA 可以看到畸形血管团经皮层静脉向后上经矢状窦、向前下经海绵窦、向后下经横窦引流；C~G. 4D-DSA 显示向前下经海绵窦引流的静脉在动脉期就已显相

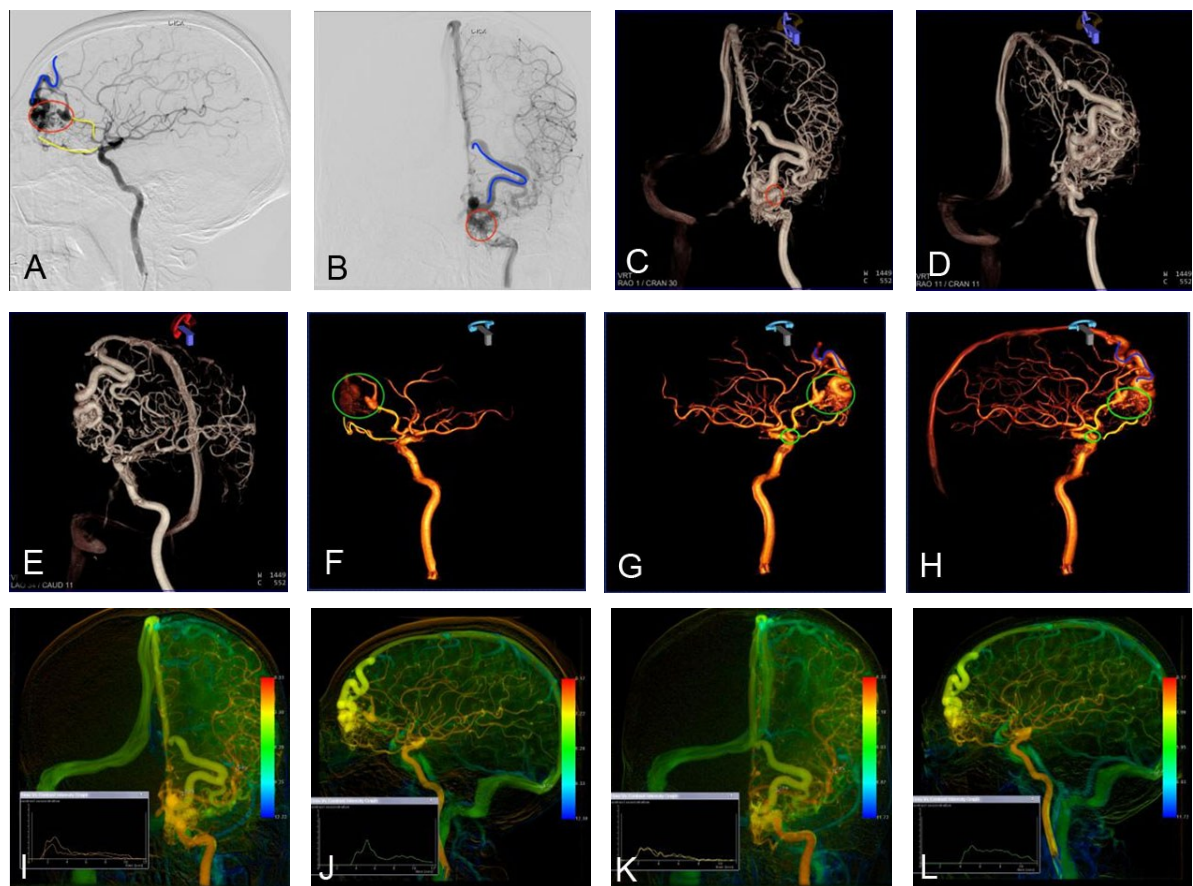


图2 脑动静脉畸形影像
A~E. 2D-DSA 及 3D-DSA 多角度观察均只发现一个血流相关性动脉瘤；F~H. 4D-DSA 可以清楚地发现畸形血管团巢内合并 2 个血流相关性动脉瘤（圆圈标注）；I~L. iFlow 测定患侧颈总动脉分叉部、颈内动脉分叉部、前交通动脉、大脑中动脉分叉部及横窦区造影剂达峰时间分别为 2.28 s、2.61 s、5.12 s、2.81 s、2.97 s、5.28 s；M. 4D-DSA 动态影像



在动脉期和静脉期均显像,导致评分者在独立打分时未将其视为引流静脉。此病例 2D-DSA 准确性优于 4D-DSA。见图 1。

关于巢内病变的评估,两位评分者评估一致性较好。1 例 2D-DSA、3D-DSA 仅发现巢内合并一个血流相关性动脉瘤,而 4D-DSA 清楚地发现畸形血管团合并有 2 个血流相关性动脉瘤。此病例 4D-DSA 准确性优于 2D-DSA。见图 2。

3 讨论

脑 AVM 是先天性脑血管发育障碍引起的脑局部动静脉血管直接沟通而形成的一团异常血管病灶。颅内出血仍然是脑 AVM 的主要风险^[8],每年出血发生率在 2.3%~3.7%,致残率和病死率较高^[9]。脑 AVM 治疗效果与病变部位、大小、供血动脉及引流静脉的多少,尤其是病灶的血管构筑有关。虽然 CT、CTA、MRI、MRA 及 DSA 都可用于脑 AVM 的诊断,但目前公认的诊断金标准仍然是 DSA。就 DSA 对脑 AVM 血管构筑的判断来讲,2D-DSA、动态 DSA 及 3D-DSA 都有较大的诊断价值,但因存在影像结构重叠,不能全程全貌显示 AVM 的影像结构,仍对其精确认识判断有一定的局限性,尤其对复杂的脑 AVM 血管构筑判断不够精准。4D-DSA 给出了脑 AVM 连续动态全循环立体影像,对脑 AVM 的血管结构判断更精准。

本文结果显示两位评分者通过 4D-DSA 得出的各项诊断评分与标准诊断结果均有较强一致性。关于巢内病变的评估,4D-DSA 显示结果明显更为精准。由于 4D-DSA 同时具有时间相和空间相,所以允许术者在任意时点从任意角度去分析畸形血管团的血管构筑,从而提高诊断的效率和准确率。由于 4D-DSA 的特点,术者可以减少临床上 2D-DSA 及 3D-DSA 的采集量,从而减少病人的造影剂和射线的摄入量^[10]。而在少数特殊病例中,4D-DSA 的时间相出现错位,导致评分者对于供血动脉及引流静脉数量的评估出现误差。我们认为导致此种情况的原因除了时间相错位外,还可能是 12 s DSA 的采集时间不够充分,并没有完全将引流静脉的解剖结构呈现出来。本文 14 例介入治疗的病人,采用 iFlow 技术与 4D-DSA 测定治疗后相同感兴趣点造影剂 TTP,两者无统计学差异($P>0.05$),说明 4D-DSA 对分析脑 AVM 的血流动力学与 iFlow 具有同等价值。同时进一步验证了介入治疗对脑 AVM 的血流动力学异

常有明显改善。

综上所述,在脑 AVM 的术前评估中,与 2D-DSA 和 3D-DSA 相比,4D-DSA 对病灶的血管构筑显示更清晰,诊断更精准,对畸形血管团内的血管结构显示更清晰,对脑 AVM 血流动力学评估与 iFlow 一致。

【参考文献】

[1] 吴小明,贺 民. 脑动静脉畸形的研究进展[J]. 华西医学, 2008,3(2):385-387.

[2] Akers AL, Ball KL, Clancy M, *et al.* Brain vascular malformation consortium: overview, progress and future directions [J]. J Rare Disord, 2013, 1(1): 5-27.

[3] Rangel-Castilla L, Russin JJ, Martinez-Del-Campo E, *et al.* Molecular and cellular biology of cerebral arteriovenous malformations: a review of current concepts and future trends in treatment [J]. Neurosurg Focus, 2014, 37: E1.

[4] Anxionnat R, Bracard S, Macho J, *et al.* 3D angiography, clinical interest, first applications in interventional neuroradiology [J]. J Neuroradiol, 1998, 25: 251-262.

[5] Samei E, Mistretta CA, Pelc NJ, *et al.* 4D DSA and 4D fluoroscopy: preliminary implementation [J]. Proc SPIE, 2010, 7622: 762227.

[6] Lescher S, Gehrisch S, Klein S, *et al.* Time-resolved 3D rotational angiography: display of detailed neurovascular anatomy in patients with intracranial vascular malformations [J]. J Neurointerv Surg, 2017, 9: 887-894.

[7] Davis B, Royalty K, Kowarschik M, *et al.* 4D digital subtraction angiography: implementation and demonstration of feasibility [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2013, 34: 1914-1921.

[8] Fahed R, Batista A, Darsault TE, *et al.* The treatment of brain arteriovenous malformation study (TOBAS) a preliminary inter- and intra-rater agreement study on patient management [J]. J Neuroradiol, 2017, 44(4): 247-253.

[9] Gross BA, Du R. Natural history of cerebral arteriovenous malformations: a meta-analysis [J]. J Neurosurg, 2013, 118 (2): 437-443.

[10] Sandoval-Garcia C, Yang P, Schubert T, *et al.* Comparison of the diagnostic utility of 4D DSA with conventional 2D- and 3D DSA in the diagnosis of cerebrovascular abnormalities [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2017, 38: 729-734.

(2020-01-16 收稿, 2020-03-10 修回)