

脑脊髓血管造影 4D 成像技术及其在脑脊髓血管病中的应用

吕福群 向伟楚 白三莉 马廉亭

【摘要】目的 探讨脑脊髓血管造影 4D 成像技术及其在脑脊髓血管病诊治中的应用价值。**方法** 回顾性分析 2018 年 1 月至 2022 年 1 月收治的 57 例脑脊髓血管病的临床资料。使用双平板 DSA 机行 2D-DSA、3D-DSA、4D-DSA 数据采集,再将原始成像数据传输到后处理工作站,利用成像软件重建动态全循环立体影像。**结果** 57 例中,脑动静脉畸形 37 例,硬脑膜动静脉瘘 10 例,硬脊膜动静脉瘘 5 例,脊髓周动静脉瘘 2 例,脊髓动静脉畸形 2 例,硬脊膜外动静脉瘘 1 例。4D-DSA 均做出正确诊断,指导显微手术或血管内治疗,取得满意效果。**结论** 4D-DSA 对影像进行动态分析,提供更精准的影像,丰富了脑脊髓血管病诊断金标准(DSA 含金量),对脑脊髓血管病的精准治疗有指导价值。

【关键词】 脑脊髓血管病;双平板 DSA;4D 成像技术;应用价值

【文章编号】 1009-153X(2022)09-0721-05 **【文献标志码】** A **【中国图书资料分类号】** R 743; R 651.1⁺1

Application of four-dimensional cerebrospinal angiography techniques to diagnosis and treatment of cerebrospinal vascular diseases

LÜ Fu-qun, XIANG Wei-chu, BAI San-li, MA Lian-ting. Department of Neurosurgery, General Hospital of Central Theater Command, PLA, Wuhan 430070, China

【Abstract】Objective To explore the clinical value of 4D-DSA techniques in the diagnosis and treatment of cerebrospinal vascular diseases. **Methods** The clinical data of 57 patients with cerebrospinal vascular disease who were admitted to our hospital from January 2018 to January 2022 were retrospectively analyzed. The 2D-DSA, 3D-DSA, and 4D-DSA data were collected using a biplane angiography system. The 4D-DSA data were inputted into a post-processing workstation, and then were reconstructed into dynamic full-circulation stereoscopic images (4D) using the 4D-DSA reconstruction software. **Results** Of 57 patients, 37 patients were cerebral arteriovenous malformations, 10 dural arteriovenous fistulas, 5 spinal dural arteriovenous fistulas, 2 spinal perimedullary arteriovenous fistulas, 2 spinal arteriovenous malformations, and 1 epidural arteriovenous fistula. All the patients were correctly diagnosed by 4D-DSA, which successfully guided the microsurgery or endovascular treatment for the patients and obtained good outcomes. **Conclusions** 4D-DSA can dynamically analyze their angiography images and provide more accurate angiography images, which has guiding values in the clinical precision treatment for the patients with cerebrospinal vascular disease.

【Key words】 Cerebrospinal vascular disease; Biplane angiography system; 4D-DSA; Clinical value

脑脊髓血管造影是诊断脑脊髓血管病的金标准。随着科学技术的进步、医疗设备的更新、医学影像学数字化成像技术的普及与发展,我国各级医院的大型影像设备 CT、MRI、DSA 等已具备数字化成像能力,既提高了影像的质量,又为影像保存、传输提供了方便^[1-6]。随着影像后处理技术的进一步改进,以及各种数字化应用软件的研制成功,通过 DICOM 接口把不同模态成像数据输入影像后处理系统,进

行多模态影像融合、双容积成像、多平面成像、3D-DSA、4D-DSA,可获得多模态融合影像、三维立体影像与四维动态立体影像,从而使医学影像显示的解剖结构更多、毗邻关系更清晰,明显提高了诊断准确性、手术的精准性和效果,对科研、教学有极大的促进作用^[7-15]。我院 2006 年引进 GE-Innova3100 单 C 臂 DSA 机,2011 年又引进了西门子双 C 臂平板 DSA 机,并配备后处理工作站及全套应用软件,我们全面开发影像后处理功能并于 2016 年 3 月在国内率先以全媒体形式出版《神经系统疾病三维影像融合技术、应用及图谱》,今年即将以全媒体形式出版《脑脊髓手术入路多模态融合影像解剖学》。现将我们开展的脑脊髓血管病 3D-DSA、4D-DSA 技术及其在脑脊

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2022.09.001
作者单位:430070 武汉,中国人民解放军中部战区总医院神经外科
(吕福群、向伟楚、白三莉、马廉亭)
通讯作者:向伟楚,E-mail:wzfskxwc@hotmail.com

髓血管病中应用情况总结如下。

1 资料与方法

1.1 病例资料 回顾性分析 2018 年 1 月至 2022 年 1 月收治的 57 例脑脊髓血管病的临床资料,其中男 40 例,女 17 例;年龄 7~72 岁,平均 32 岁。

1.2 4D-DSA 的检查方法

1.2.1 对病人的要求 平卧在脑脊髓血管造影床上,全身麻醉、神经安定麻醉或局部麻醉使头部不移动,完成 3D-DSA、4D-DSA 操作。

1.2.2 DSA 机器的设置参数 3D-DSA:5sDSA 或 8sDSA 旋转影像数据采集。4D-DSA:“8sDSA”或者“12sDSA”4D 采集模式。

1.2.3 高压注射器的设置参数

1.2.3.1 3D-DSA 的设置参数 颈内动脉 3 ml/s,总量 18 ml;颈外动脉 2 ml/s,总量 12 ml;椎动脉 2.5 ml/s,总量 15 ml;脊髓动脉 2 ml/s,总量 12 ml;压力 300 psi。

1.2.3.2 4D-DSA 的设置参数 颈内动脉 3 ml/s,总量 21 ml;颈外动脉 2 ml/s,总量 14 ml;椎动脉 2.5 ml/s,总量 17.5 ml;脊髓动脉 2 ml/s,总量 14 ml;压力 300 psi。

1.3 工作站后处理程序 使用双平板 DSA 机和三维影像后处理工作站,选择双平板 DSA 机平扫、三维、四维采集获得的原始影像数据,发送至 syngo 三维后处理工作站,手动重建成各种不同的图像形式进行影像分析。

1.3.1 3D-DSA 的概念及成像技术 3D-DSA 是脑脊髓血管造影的三维重建影像,是单一时间点的脑脊髓血管的静态立体成像。3D-DSA 的成像技术:利用采集到的原始的 5sDSA 或 8sDSA 影像数据,在 System Syngo X-WP 三维后处理工作站上进行双容积重建。3D-DSA 可在电脑屏幕上,旋转两个 360°,从而看清楚被血管遮盖着的微小病变,如微小动脉瘤。

1.3.2 4D-DSA 的概念及成像技术 4D-DSA 是脑脊髓血管造影的四维重建影像,包括动脉期、静脉期、静脉窦期的全程、动态连续立体影像。4D-DSA 成像技术:利用采集到的原始 8sDSA 或 12sDSA 的影像数据,在 System Syngo XWP 后处理工作站上进行后处理,重建 4D-DSA 影像。4D-DSA 可以动态连续显示脑血管造影、脊髓血管造影的全过程立体影像,从而看清楚脑脊髓血管病变的解剖结构,对脑脊髓血管病变的血流动力学及解剖结构进行分析,指导临

床诊断、治疗、科研与教学。

2 结果

2.1 检查结果 57 例均行 2D-DSA、3D-DSA、4D-DSA 数据采集,对图像进行分析,4D-DSA 均做出正确诊断,指导显微手术或血管内治疗,取得满意效果。57 例中,脑动静脉畸形 37 例,硬脑膜动静脉瘘 10 例,硬脊膜动静脉瘘 5 例,脊髓髓周动静脉瘘 2 例,脊髓动静脉畸形 2 例,硬脊膜外动静脉瘘 1 例。

2.2 典型病例

病例 1:49 岁男性,因突发头痛伴四肢乏力 6 h 入院。入院后完善术前准备,在全麻下行全脑血管造影,4D-DSA 诊断右侧枕顶叶硬脑膜动静脉瘘。经微导管缓慢注入 Onyx 胶 1.2 ml,弥散良好,造影示供血动脉完全栓塞,瘘口闭塞,但仍残留枕动脉分支供血的瘘口。再次将导引导管送至左侧脑膜中动脉靠下的分支动脉,依次经 Echelon 10 微导管分别交替置入弹簧圈 3 枚,并缓慢注入 Onyx 18 胶 1.6 ml,弥散良好,造影示瘘口完全栓塞。见图 1。

病例 2:8 岁女孩,因左侧肢体乏力 2 个月余入院。外院头颅 MRI 平扫示右侧额顶部血管畸形可能。完善术前准备,行全脑血管造影检查,4D-DSA 诊断右侧额顶叶多发软脑膜动静脉瘘。经 sceptor 封堵球囊导管向供血动脉狭窄处置入弹簧圈多枚,随后经封堵球囊导管缓慢注入 Onyx 18 胶 0.6 ml,10 min 后,缓慢松弛球囊再次造影示静脉瘤未显影,右侧大脑前动脉显影可,循环时间正常,其余血管未见明显异常,循环时间正常。术后半年造影复查未见复发。见图 2。

病例 3:50 男性,因双下肢乏力伴腰腹部束带感 1 个月余入院。入院后完善相关准备,急诊局麻下行脊髓血管造影,4D-DSA 诊断 T12 水平髓周动静脉瘘,由右侧 T9 水平肋间动脉参与供血,瘘口位于 T12 水平,经腹侧及背侧扩张脊髓静脉引流。局麻下行髓周动静脉瘘栓塞术,栓塞后复查造影见少量造影剂弥散至引流静脉显影(静脉末期),双下肢麻木乏力好转。见图 3。

3 讨论

3.1 适应证及临床应用价值 我们认为,3D-CTA、3D-DSA 与 4D-CTA、4D-DSA 的区别在于:3D-CTA、3D-DSA 是血管造影全程某单一时间点的静态立体影像,而 4D-CTA、4D-DSA 是血管造影全程(动脉期、静脉期与静脉窦期)动态立体成像^[16,17]。DSA 虽

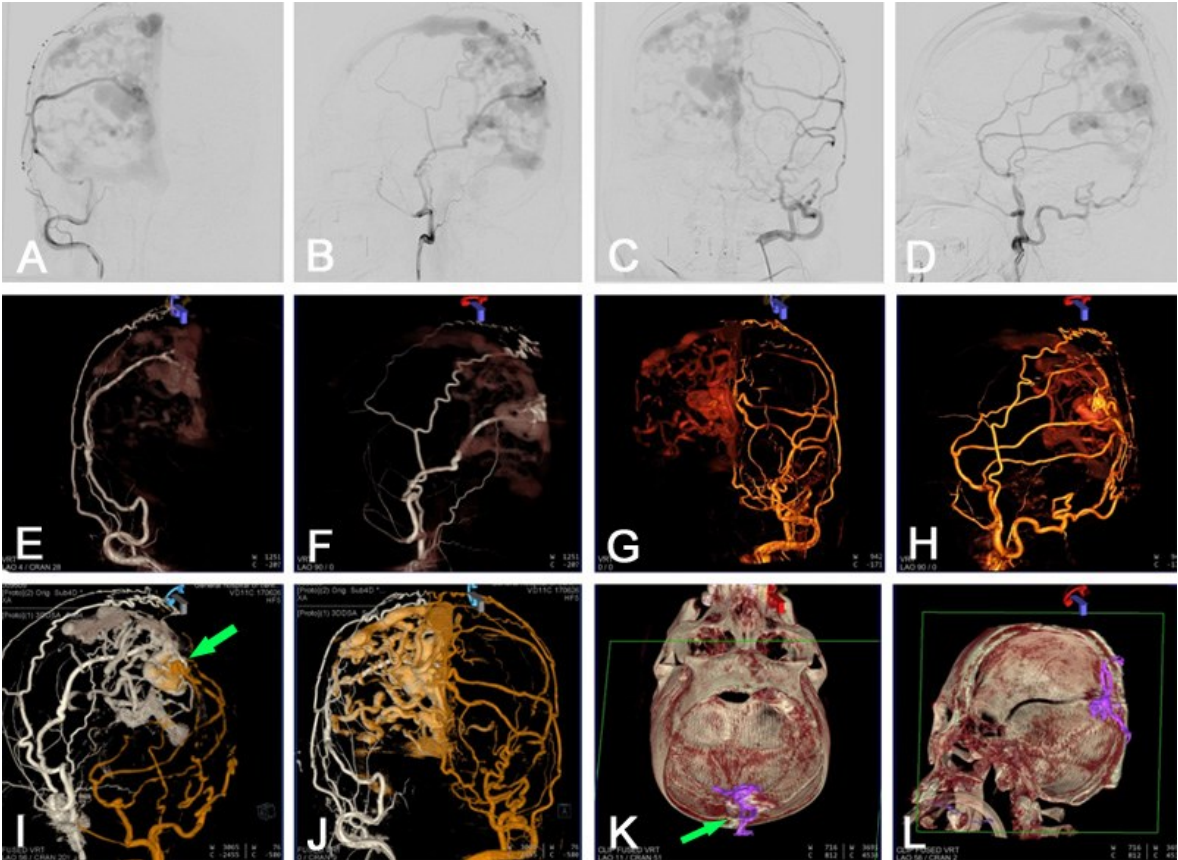


图 1 右侧枕顶叶硬脑膜动静脉瘘栓塞治疗前后影像

A、B. 术前右侧颈外动脉造影,2D 正侧位像;C、D. 术前左侧颈外动脉造影,2D 正侧位像;E、F. 术前右侧颈外动脉造影,3D 正侧位像;G、H. 术前左侧颈外动脉造影,4D 正侧位像;I、J. 术前右侧颈外动脉造影三维影像和左侧颈外动脉造影四维影像融合像,绿色↑示瘘口汇合处;K、L. 术后 Onyx 18 胶的弥散三维融合图像,绿色↑示 Onyx 18 胶跟颅骨的关系

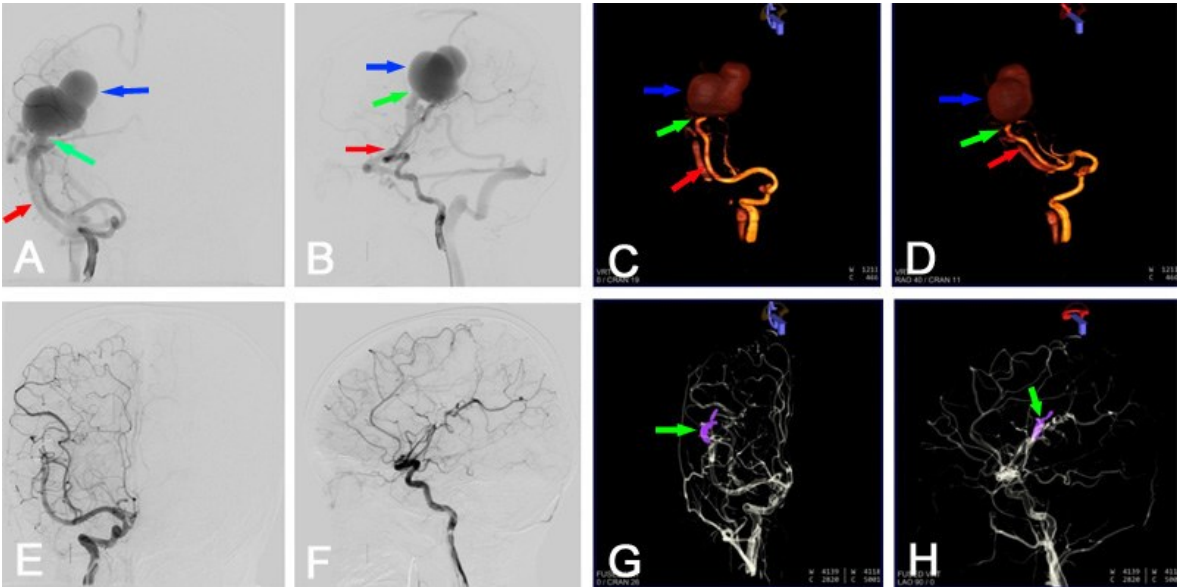


图 2 左顶叶软脑膜动静脉瘘栓塞治疗前后造影表现

A、B. 栓塞前 2D-DSA 正侧位像,红色↑示供血动脉,绿色↑示瘘口,蓝色↑示静脉瘤;C、D. 栓塞前 4D-DSA,红色↑示供血动脉,绿色↑示瘘口,蓝色↑示静脉瘤;E、F. 栓塞后 2D-DSA 正侧位像,未见异常血管显影;G、H. 栓塞后颈内动脉双融积水成像,绿色↑示弹簧圈与 Onyx 18 胶

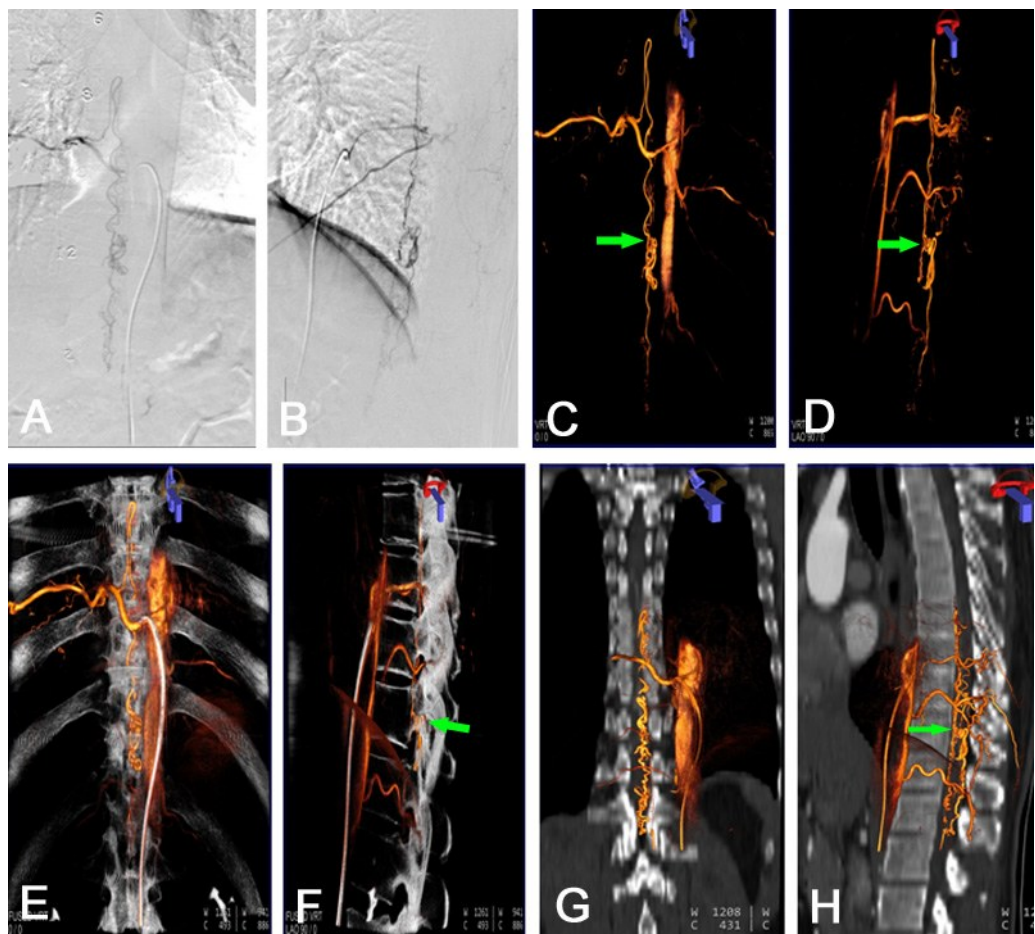


图3 T12水平髓周动静脉瘘栓塞前影像
A、B. 2D-DSA 可见异常脊髓动脉;C、D. 4D-DSA, 动态显示异常血管的流进与流出, 绿色↑示瘘口;E、F. 4D-SDA 双融合成像, 绿色↑示瘘口;G、H. 4D-DSA 与 320-CTA 融合影像观察血管与脊髓的关系, 绿色↑示瘘口

是有创检查,但它是脑脊髓血管病诊断的金标准^[18, 19]。从目前数字影像学的进展看,除 2D-DSA 外,诊断金标准还应包括动态 DSA、3D-DSA、4D-DSA 及多模态融合影像,这样才能体现诊断金标准的含金量。至于无创的 4D-CTA 能否取代或部分取代 DSA 作为首选诊断手段? 既往,我们应用 DSA 与 320-CTA 对诊断颅内动脉瘤进行对比研究,发现有 1% 的误差,提示可部分取代,但不能完全取代。在行血管内介入治疗时,目前尚无 CT 引导下的血管内介入治疗技术,血管内介入治疗仍必须在 DSA 机器下完成。因此,DSA 检查仍是目前临床应用的不可完全取代的检查、治疗手段。

3.2 脑脊髓血管病 3D-DSA、4D-DSA 的关键技术要点 3D-DSA 是单一时间点的脑脊髓血管静态立体血管影像,采集成像相对简单、实用^[19]。4D-DSA 是连续、动态、全循环、立体影像,能够重建各种参数的血管影像,比如动脉期、静脉期、静脉窦期,造影注药需要的时间长(7 s),病人注射造影剂、采集成数据需

要保持头部不动时间长(约 30 s),才能够完成动脉期、静脉期、静脉窦期血管成像数据的采集。与 2D-DSA 和 3D-DSA 相比,4D-DSA 对病变的血管构筑的显示更加清晰,尤其是畸形团内部血管结构,使得诊断更加精准^[20, 21]。要想获得精准的 4D-DSA 影像,一定要保持病人头部不动,最理想的是气管插管全麻,造影时暂停呼吸,DSA 机与高压注射器设定条件完全符合造影要求。

3.3 4D-DSA 技术的应用展望 随着技术的进步,4D-DSA 技术开始被应用于临床,可提供脑或脊髓等血管造影全过程连续、动态、立体影像,详细分析供血动脉数量及多支供血方式,引流静脉数量及多支引流方式,显示出整个流进、流出的动态过程,看清常规成像技术展现不出的细节,比如囊内病变(动脉瘤、静脉瘤、瘘)、动静脉瘘的瘘口情况(位置、数量、主要瘘口)等^[20-22]。除了达到精准诊断、指导临床精准治疗外,还可利用 4D-DSA 全循环成像研究脑动脉瘤、动静脉瘘、动静脉畸形等血管病变的血流动力

学变化^[20]。我科在马廉亭教授的带领下,积极开发应用 4D-DSA 成像技术、多模态影像融合技术,使影像显示出更多细节,为术者提供更多的影像信息,从而使手术达到满意的治疗效果。

【参考文献】

[1] 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.

[2] 马廉亭,杨 铭,李 俊,等. DSA 与 Dyna-CT、MRI 影像融合新技术在脑脊髓血管病中的应用[J]. 中华脑血管病杂志(电子版), 2014, 8(2): 30-37.

[3] 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(4): 729-734.

[4] Ruedinger KL, Schafer S, Speidel MA, *et al.* 4D-DSA: development and current neurovascular applications [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2021, 42(2): 214-220.

[5] 程少容,陈信坚,黄文才,等. 320 排动态容积 CT 在脑静脉窦血栓形成诊断中应用[J]. 中国临床神经外科杂志, 2012, 17(11): 23-26.

[6] Harteveld AA, van der Kolk AG, Zwanenburg JJ, *et al.* 7-T MRI in cerebrovascular diseases: challenges to overcome and initial results [J]. *Top Magn Reson Imaging*, 2016, 25(2): 89-100.

[7] 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.

[8] van Rooij WJ, Sprengers ME, de Gast AN, *et al.* 3D rotational angiography: the new gold standard in the detection of additional intracranial aneurysms [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2008, 29: 976-979.

[9] Suzuki H, Taki W, Maki H. Image fusion of three-dimensional digital subtraction angiography and magnetic resonance imaging in the assessment of cerebrovascular diseases [J]. *Nihon Rinsho*, 2006, 64 Suppl 7: 367-71.

[10] Sheng LQ, Li J, Li HH, *et al.* Evaluation of cerebral arteriovenous malformation using 'dual vessel fusion' technology [J]. *J Neurointerv Surg*, 2014, 6: 667-671.

[11] Li H, Wan F, Li J, *et al.* Flat detector computed tomography-based "dual vessel fusion" technique for diagnosis and surgical planning in the management of dural arteriovenous fistula [J]. *World Neurosurg*, 2015, 84(2): 520-527.

[12] Faragò G, Caldiera V, Tempa G, *et al.* Advanced digital subtraction angiography and MR fusion imaging protocol applied to accurate placement of flow diverter device [J]. *BMJ Case Rep*, 2015, 2015: bcr2014011428.

[13] Zhang Q, Zhang Z, Yang J, *et al.* CBCT-based 3D MRA and angiographic image fusion and MRA image navigation for neuro interventions [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(32): e4358.

[14] 闫林海,潘 力,杨 铭,等. 4D-DSA 在脑动静脉畸形影像学评估中的应用[J]. 中国临床神经外科杂志, 2020, 25(3): 134-137.

[15] 张 敏,杨 铭,潘 力,等. 4D-DSA 在硬脑膜动静脉瘘诊治中的应用[J]. 中国临床神经外科杂志, 2020, 25(3): 129-133.

[16] Denby CE, Chatterjee K, Pullicino R, *et al.* Is four-dimensional CT angiography as effective as digital subtraction angiography in the detection of the underlying causes of intracerebral haemorrhage: a systematic review [J]. *Neuroradiology*, 2020, 62(3): 273-281.

[17] 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.

[18] Sugahara T, Korogi Y, Nakashima K, *et al.* Comparison of 2D and 3D digital subtraction angiography in evaluation of intracranial aneurysms [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2002, 23: 1545-1552.

[19] van Rooij WJ, Sprengers ME, de Gast AN, *et al.* 3D rotational angiography: the new gold standard in the detection of additional intracranial aneurysms [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2008, 29: 976-979.

[20] Kato N, Yuki I, Hataoka S, *et al.* 4D digital subtraction angiography for the temporal flow visualization of intracranial aneurysms and vascular malformations [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2020, 29: 105327.

[21] 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.

[22] 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.