

不同对比剂稀释浓度在颅内支架高分辨率 C 形臂 CT 成像中的应用

李自恒, 赵 卫, 杨 凯, 张晓东, 孟雪柔, 李玉婷, 王 滔

【摘要】 目的 探讨注射不同稀释浓度对比剂的高分辨率 C 形臂 CT 在 Pipeline Flex 植入术中的应用。**方法** 回顾性分析 2019 年 1 月至 2021 年 1 月在昆明医科大学第一附属医院接受 Pipeline Flex 植入治疗的 25 例颅内动脉瘤患者临床资料, 其中术中接受高分辨率 C 形臂 CT 检查时对比剂稀释比例为 10% 患者 12 例(A 组), 稀释比例为 15% 患者 13 例(B 组)。3 名神经介入专家对两组患者影像的支架释放、支架与动脉瘤空间关系、支架贴壁情况进行客观评价并予定性评分, 再采用 ImageJ 软件客观记录载瘤动脉灰度值和背景灰度值, 以比值代表支架与载瘤动脉腔对比度并予定量分析。记录患者术中术后相关并发症。**结果** 25 例患者共成功植入 25 枚 Pipeline Flex。影像质量定性评分和定量分析结果显示, A、B 组支架释放、支架与动脉瘤空间位置显示差异均无统计学意义($P>0.05$); 支架贴壁显示差异有统计学意义, B 组优于 A 组($P<0.05$)。所有患者均获随访 6~12 个月, 平均(8.6 ± 2.5)个月, 复查显示 O'Kelly-Marotta(OKM)分级 A 级 0 例, B 级 1 例(4%), C 级 5 例(20%), D 级 19 例(76%), 动脉瘤完全闭塞率为 76%; 均未出现支架移位、出血等不良事件。**结论** 通过 ImageJ 软件在主客观定性评分基础上进行客观定量评价, 颅内动脉瘤颅内段动脉瘤因有骨组织重叠, 对比剂稀释程度为 15% 左右较好, 而大脑前动脉和大脑中动脉动脉瘤使用 10% 稀释比例, 即可满足临床需求。

【关键词】 C 形臂 CT; 血流导向装置; 颅内动脉瘤; 对比剂

中图分类号: R816.1 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2022)-02-0125-05

The application of different concentrations of contrast medium in high-resolution C-arm CT imaging of intracranial stents LI Ziheng, ZHAO Wei, YANG Kai, ZHANG Xiaodong, MENG Xuerou, LI Yuting, WANG Tao. Department of Medical Imaging, First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming, Yunnan Province 650032, China

Corresponding author: WANG Tao, E-mail: kmtaowang@126.com

【Abstract】 Objective To discuss the application of different concentrations of contrast medium in high-resolution C-arm CT imaging for performing the implantation of Pipeline-Flex stent(a flow diverter). **Methods** The clinical data and imaging materials of 25 patients with intracranial aneurysm, who received implantation of Pipeline-Flex at the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University of China between January 2019 and January 2021, were retrospectively analyzed. During the operation, the contrast medium of 10% dilution concentration was used in 12 patients(group A), while the contrast medium of 15% dilution concentration was used in 13 patients(group B). Based on the the clarity of the image display, the release of stent, the spatial relationship between stent and aneurysm, and the attachment on vascular wall of the stent were objectively evaluated and qualitatively scored by three neurointerventional experts. ImageJ software was used to objectively record the gray value of the tumor-bearing artery and the background gray value, the ratio of the two was used as the contrast ratio value of the stent to the tumor-bearing artery cavity, based on which the quantitative analysis was conducted. The intraoperative and postoperative procedure-related complications were documented. **Results** A total of 25 Pipeline-Flex stents were successfully implanted in the 25 patients. The qualitative scoring and the quantitative analysis of image quality indicated that no statistically significant

difference in displaying the release of stent and the spatial relationship between stent and aneurysm existed between the two groups ($P>0.05$), but the visualization of the stent attachment on vascular wall in group A was strikingly better than that in group B, the difference was statistically significant ($P<0.05$). All the patients were followed up for 6-12 months, with a mean of (8.6 ± 2.5) months. Follow-up reexamination revealed that O'Kelly-Marotta (OKM) grade A was obtained in 0 patient, grade B in one patient (4%), grade C in 5 patients (20%), and grade D in 19 patient (76%). The complete occlusion rate of aneurysm was 76%. No adverse events such as displacement of stent, bleeding, etc. occurred. **Conclusion** By using ImageJ software to make objective quantitative evaluation and on the basis of subjective qualitative scoring, this study is conducted. The results of this study indicate that the use of contrast medium of 15% dilution concentration is an optimal choice in high-resolution C-arm CT imaging for visualizing intracranial segment aneurysm of the internal carotid artery as it can overcome the shortcoming caused by the overlapped shadow of internal carotid intracranial aneurysm and bone tissue, while the use of contrast medium of 10% dilution concentration is enough to meet the clinical requirements for visualization of the anterior and middle cerebral arteries. (J Intervent Radiol, 2022, 31: 125-129)

【Key words】 C-arm CT scanner; flow diverter; intracranial aneurysm; contrast medium

血流导向装置(flow diverter, FD)具有术中操作简单、风险率低等优点,已逐渐成为治疗颅内复杂动脉瘤的重要方法^[1]。FD 引起动脉瘤瘤腔内血栓形成具时间依赖性特点,动脉瘤呈时间渐进性逐渐闭塞,一般需数月甚至 1 年以上。由于有可能出现支架内狭窄,甚至闭塞,术中术后判断支架贴壁情况十分必要,尤其是针对支架、载瘤动脉和瘤腔内三者间关系的评估^[2]。随着近年高分辨率 C 形臂 CT 应用于颅内支架植入术,其较高的空间分辨率及金属去伪影等后处理技术逐渐显露优势^[3],通过术中注射低浓度对比剂显示支架贴壁程度,有助于及时对支架进行按摩、修正。但是目前对于低浓度对比剂定义仍较模糊,有文献表明为 10%~15%^[4]。本研究回顾分析 25 例植入 FD 颅内动脉瘤患者,定量定性分析注射 10%和 15%稀释比例对比剂行高分辨率 C 形臂 CT 显示 FD 贴壁情况的差异性。

1 材料与方法

1.1 一般资料

收集 2019 年 1 月至 2021 年 1 月在昆明医科大学第一附属医院接受 Pipeline Flex 植入治疗的 25 例颅内动脉瘤患者临床资料,其中术中接受低浓度颅内支架高分辨率 C 臂 CT 对比剂稀释比例为 10%患者 12 例(A 组),稀释比例为 15%患者 13 例(B 组)。A 组患者年龄为 (52.4 ± 5.0) 岁,范围为 42~59 岁,动脉瘤位于颈内动脉眼段 6 例,颈内动脉床突段 3 例,大脑中动脉 2 例,椎动脉 1 例;B 组患者年龄为 (51.7 ± 5.6) 岁,范围为 41~59 岁,动脉瘤位于颈内动脉眼段动脉瘤 7 例,颈内动脉床突段 4

例,大脑中动脉 1 例,椎动脉 1 例,见表 1。

表 1 两组患者基线资料

参数	A 组(n=12)	B 组(n=13)	统计值	P 值
年龄/岁	52.4±5.0	51.7±5.6	$t=0.399$	0.738
性别/n			—	0.570
男	5	6		
女	7	7		
动脉瘤位置/n			—	0.459
颈内动脉虹吸部	9	11		
非颈内动脉虹吸部	3	2		
动脉瘤直径/mm	4.26±0.98	4.45±0.92	$t=-0.494$	0.626

“—”为 Fisher 确切概率法

1.2 治疗方法和对比剂注射策略

采用 Philips FD20 DSA 机,碘佛醇(320 mg I/mL)对比剂,Xper-CT 行图像采集。设备采集参数为 80 kV, 260 Ma, 7 ms, 30 fps。造影时 A 组、B 组对比剂分别为 12 mL、18 mL, 0.9%氯化钠溶液分别为 108 mL、102 mL,总量 120 mL 分别稀释为 10%、15%低浓度对比剂;造影注射总量为 100 mL,速率 5 mL/s,压力为 150 psi,注射延迟时间为 1.5 s。

1.3 图像重建

图像采集完成后传送至 Philips R1.3.2 介入工作站进行图像处理,使用最大密度投影(MIP)模式,调整适当层厚,对显示效果最佳图像进行评估。三维图像重建时正侧位将 FD 所在区域置于正中央,选取合适的空间容积重建其置放位置(空间容积越小,感兴趣区越大,受头部骨骼等影响越小,得出的图像对比度佳),重建选择优化模式,同时消除金属伪影,设备最高重建图像分辨率为 3 843。

1.4 主观与客观评价

3 名从事神经介入 30 年以上医师进行主观评价,对两种不同稀释浓度对比剂行颅内支架高分辨率 C 形臂 CT 图像予以定性评分。主观评价标准:支架释放完全情况显示欠佳为 1 分,良好为 2 分,清晰为 3 分;支架与动脉瘤空间位置显示欠佳为 1 分,良好为 2 分,清晰为 3 分;支架与血管壁贴壁情况显示欠佳为 1 分,良好为 2 分,清晰为 3 分。

客观评价:将 10%、15% 稀释浓度对比剂分别行头部高分辨率 C 形臂 CT 影像传输至三维工作站,调整窗宽、窗位并获取对比度与空间位置最优影像,通过多平面重建(MPR)技术分别选取支架近端、动脉瘤口处、FD 远端,获得横断位、冠状位、矢状位图像(图 1①②③),导出图像由 ImageJ 软件沿相应位置画线测量,参考沿划线方向生成的灰度曲线图,明确载瘤动脉腔灰度分布并进行记录,其余即为背景灰度值(图 1④⑤⑥)。为尽可能减小误差,载瘤动脉腔灰度值、其余部分灰度值(背景灰度值)取均值,前者除以后者即为载瘤动脉腔灰度均值比值,以代表支架与血管壁对比度。

1.5 随访

术后 6~12 个月复查颅脑 CT 和 DSA,行颅内

支架专用高分辨率 C 形臂 CT 成像。采用 O'Kelly-Marotta(OKM)分级评估动脉瘤腔闭塞情况(A 级:动脉瘤腔显影>95%,可认为完全显影;B 级:显影 5%~95%,可认为部分显影;C 级:显影<5%,为瘤颈残余;D 级:完全不显影,为完全闭塞)。记录术后即刻及随访复查 FD 狭窄、移位、血栓生成、出血等情况。

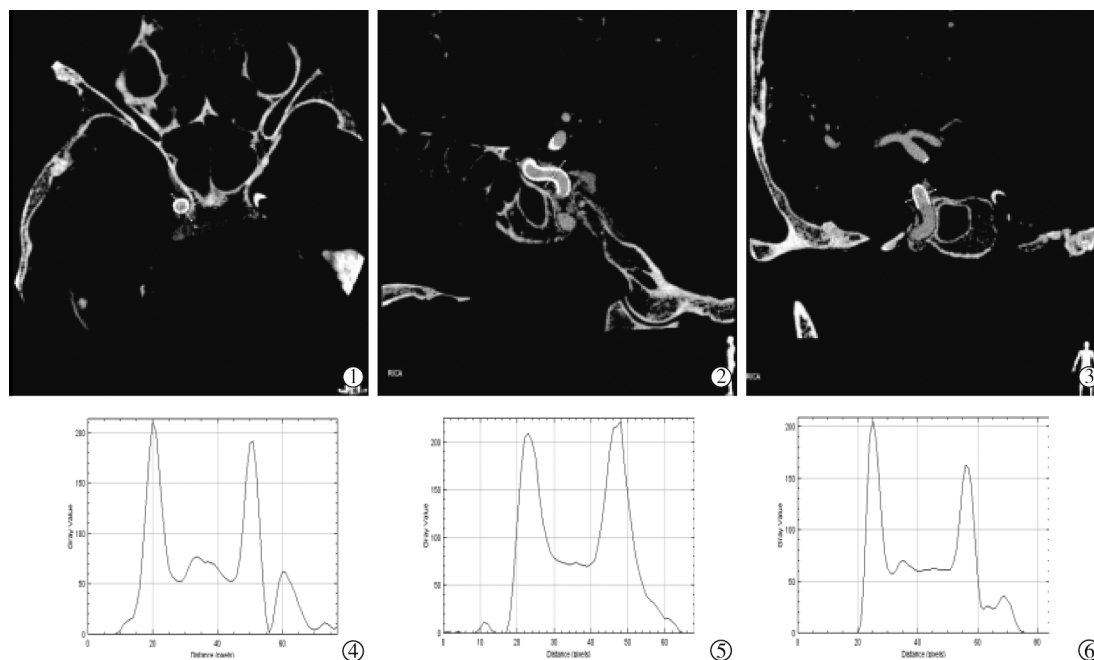
1.6 统计学方法

采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析。服从正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,两组间比较用两独立样本 t 检验。计数资料采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

影像质量主观评价定性评分和客观评价定量分析结果显示,两组支架释放、支架与动脉瘤空间位置显示差异无统计学意义(均 $P > 0.05$);支架贴壁显示差异有统计学意义,B 组优于 A 组($P < 0.05$),见表 2、3,图 2。

两组 25 例患者共成功植入 25 枚 Pipeline Flex,其中 1 例术中出现动脉瘤破裂出血,予弹簧圈致密栓塞,支架打开情况良好。术中与术后复查均显示支架贴壁良好,术后即刻未出现相关不良事



分别选取支架近端、中间段、远端,测量横断、冠状、矢状位载瘤动脉腔灰度值:①②③实时三维工作站获取支架横断位、冠状位、矢状位影像,利用 ImageJ 软件分别划线,测量其灰度值;④⑤⑥ImageJ 软件所获沿划线方向上的距离灰度分布曲线图(横坐标为划线距离,纵坐标为沿划线方向上该点灰度值),可看出典型曲线图有两个“尖峰”,此处即为支架,两尖峰间即为载瘤动脉腔

图 1 两组灰度值测量示意



B 组(15%稀释浓度对比剂) A 组(10%稀释浓度对比剂)

B 组支架与载瘤血管壁间显示效果优于 A 组:①②在颈内动脉虹吸段,由于骨组织重叠较多,用 15%稀释浓度对比剂显像效果更佳;③④在骨重叠较多位置,用 10%稀释浓度对比剂显像欠佳,但在大脑中动脉等骨组织重叠少位置,也可满足诊断需求

图 2 两组术中 FD 位于颈内动脉虹吸段显示效果对比

表 2 两组患者影像质量主观评价定性评分结果

参数	A 组(n=12)			B 组(n=13)			χ^2 值	P 值
	1 分	2 分	3 分	1 分	2 分	3 分		
支架释放状态显示	0	4	8	0	6	7	0.632	0.533
支架与动脉瘤位置显示	0	4	8	0	3	10	-0.551	0.587
支架贴壁情况显示	3	5	4	0	2	11	-3.033	0.008

表 3 两组患者影像质量客观评价定量分析结果 $\bar{x} \pm s$

载瘤动脉腔/背景灰度值	A 组(n=12)	B 组(n=13)	t 值	P 值
近端	0.741±0.235	0.971±0.152	-2.938	0.007
中间段	0.675±0.179	0.917±0.198	-3.189	0.004
远端	0.781±0.221	1.002±0.258	-2.306	0.031

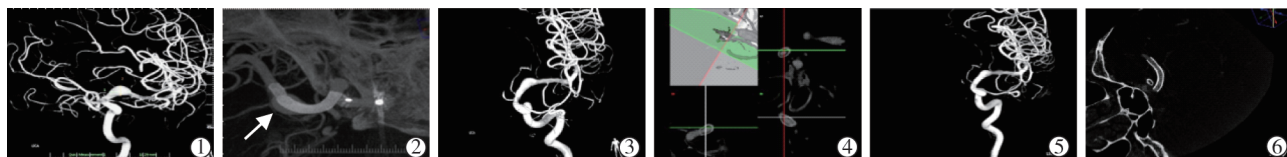
件。所有患者均随访 6~12 个月,平均(8.6±2.5)个月,复查显示 OKM 分级为 A 级 0 例,B 级 1 例(4%),C 级 5 例(20%),D 级 19 例(76%),动脉瘤完全闭塞率为 76%;A 组 1 例术后 3 个月高分辨率 C 形臂 CT 复查显示支架近端轻度狭窄,及时改变用药策略后 6 个月狭窄消失(图 3),其余患者支架通畅良好;均未出现支架移位、出血等不良事件。

3 讨论

以 Pipeline 栓塞装置(PED)为代表的带密网支架 FD 兴起,为颅内动脉瘤治疗带来了更新、更安全的治疗理念(即由传统动脉瘤内弹簧圈致密栓塞转变为重心为对载瘤动脉血流重建),在手术操作上有效降低了手术风险,从而提高了整体疗效^[5]。本研究中 Pipeline Flex 植入术后患者平均随访(4.5±1.2)

个月,动脉瘤完全闭塞率为 76%,与以往发表的 meta 分析结果相似^[6]。

Pipeline Flex 通过改变血流动力学促进瘤腔内血栓形成,达到闭塞瘤腔目的,从而重建载瘤动脉,是由于其高网孔密度特点,提供了血管内皮细胞攀爬生长的“脚手架”^[7]。因此,支架是否贴壁会影响内皮细胞生成,从而影响动脉瘤闭塞率。研究显示,支架贴壁不良是造成病变复发和远期血管再狭窄的重要因素之一^[8-9]。相关动物实验报道显示,支架贴壁情况差不仅是延长动脉瘤瘤腔闭塞时间,还与其梗死、支架移位等严重并发症发生有关^[9-10]。成功的颅内动脉瘤介入栓塞治疗取决于术者对脑血管解剖、靶血管与腔内治疗器械及周围组织关系的认识和理解^[11]。由于颅内组织结构重叠,常规 C 形臂 CT 和血管造影难以直接判断支架是否完全打开及其贴壁情况等。Caroff 等^[12]报道采用高分辨率 Xper-CT 可视化动脉瘤栓塞情况,认为高分辨率 C 形臂 CT 能有效降低血栓栓塞事件发生率。目前文献报道的对比剂稀释浓度不一,为 10%~20%,且多为主



①术前脑血管造影显示大脑中动脉 M1 段不稳定梭囊状动脉瘤,大小为 10.29 mm×6.47 mm;②术中即刻高分辨率 Xper-CT 示支架显示清楚,贴壁良好;③术后 3 个月常规 DSA 复查示支架近端轻度狭窄;④高分辨率 C 形臂 CT 复查清晰示支架内环均匀充盈缺损,贴壁情况良好;⑤术后 6 个月后常规 DSA 复查示支架狭窄消失;⑥高分辨率 C 形臂 CT 示血管内充盈缺损消失,支架贴壁良好

图 3 A 组 1 例颅内动脉瘤患者 Pipeline Flex 治疗前后影像

观评价,存在个体差异。本研究基于以往定性评价,通过 ImageJ 软件对影像资料中载瘤动脉腔和背景进行灰度测量,比较载瘤动脉腔灰度值与背景灰度值比值,定量研究 A 组与 B 组图像质量差异,从而判断支架打开与贴壁情况。

C 形臂 CT 应用中对对比剂浓度、注射时间和剂量等已有相关报道,有助于减少术中和术后不良事件发生率^[13]。本研究主观评价结果表明,两组支架打开及支架与动脉瘤位置关系显示比较,差异无统计学意义,而 B 组显示支架贴壁情况优于 A 组;ImageJ 软件客观验证 B 组 15%稀释浓度对比剂(稀释后对比剂总量 120 mL,延迟 1.5 s 扫描)显示支架贴壁情况的效果更佳。本研究仍有不足,如机器型号不同,相应参数无法一致;样本量较小,组间样本量分布不均,可能导致选择偏倚等,同时对比剂浓度不同,按比例稀释后含碘量也会有所不同,有待后续扩大样本量进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] Becks T, Brinjikji W, Potts MB, et al. Long-term clinical and angiographic outcomes following pipeline embolization device treatment of complex internal carotid artery aneurysms: five-year results of the pipeline for uncoilable or failed aneurysms trial[J]. *Neurosurgery*, 2017, 80: 40-48.
- [2] Ravindran K, Salem MM, Enriquez-Marulanda A, et al. Quantitative assessment of in-stent stenosis after pipeline embolization device treatment of intracranial aneurysms: a single-institution series and systematic review[J]. *World Neurosurg*, 2018, 120: e1031-e1040.
- [3] Li TF, Ma J, Han XW, et al. Application of High-resolution C-arm CT combined with streak metal artifact removal technology for the stent-assisted embolization of intracranial aneurysms[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2019, 40: 1752-1758.
- [4] 李腾飞,马 骥,朱 明,等. 高分辨 C 臂 CT 在颅内动脉瘤国产血流导向装置置入术中的应用[J]. *郑州大学学报(医学版)*, 2019, 54: 641-645.
- [5] 王 凯,成晓江,卡合尔曼·卡德尔,等. Pipeline Flex 血流导向装置治疗颅内动脉瘤的初步临床经验[J]. *中华神经外科杂志*, 2019, 35: 547-551.
- [6] Rajah G, Narayanan S, Rangel - Castilla L. Update on flow diverters for the endovascular management of cerebral aneurysms[J]. *Neurosurg Focus*, 2017, 42: E2.
- [7] 卢 昊,胡 鹏,张鸿祺,等. Pipeline 栓塞装置治疗颅内未破裂动脉瘤的短期疗效[J]. *中华神经外科杂志*, 2017, 33: 785-789.
- [8] Zhang H, Gao X, Liang H, et al. Incomplete stent apposition of low-profile visualized intraluminal support stents in the treatment of cerebral aneurysms[J]. *J Neurointerv Surg*, 2020, 12: 591-597.
- [9] Aquarius R, de Korte A, Smits D, et al. The importance of wall apposition in flow diverters[J]. *Neurosurgery*, 2019, 84: 804-810.
- [10] Altes TA, Cloft HJ, Short JG, et al. 1999 ARRS Executive Council Award. Creation of saccular aneurysms in the rabbit: a model suitable for testing endovascular devices. *American Roentgen Ray Society*[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2000, 174: 349-354.
- [11] 陈 蓐,王 武. 颅内动脉瘤血管内治疗现状与进展[J]. *介入放射学杂志*, 2018, 27: 592-597.
- [12] Caroff J, Mihalea C, Neki H, et al. Role of C-arm VasoCT in the use of endovascular WEB flow disruption in intracranial aneurysm treatment[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2014, 35: 1353-1357.
- [13] Patel NV, Gounis MJ, Wakhloo AK, et al. Contrast-enhanced angiographic cone-beam CT of cerebrovascular stents: experimental optimization and clinical application[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2011, 32: 137-144.

(收稿日期:2021-03-10)

(本文编辑:边 倩)