

Pipeline 栓塞装置治疗颅内复杂动脉瘤临床观察

范 锋, 管 生, 郭新宾, 徐浩文, 袁永杰, 陈 振, 魏 莹

【摘要】目的 探讨 Pipeline 栓塞装置(PED)辅助加圈与不加圈治疗颅内复杂动脉瘤的安全性和有效性。**方法** 回顾性总结 2015 年 4 月至 2018 年 3 月郑州大学第一附属医院采用 PED 治疗的 35 例(36 枚)颅内复杂动脉瘤患者临床资料。其中男 11 例,女 24 例;年龄 22~73 岁,平均(53.6±12.6)岁。动脉瘤位于颈内动脉 33 枚,大脑中动脉 1 枚,椎动脉 2 枚;破裂动脉瘤 1 枚,未破裂 35 枚;动脉瘤呈囊性 30 枚,梭形 4 枚,夹层 2 枚;动脉瘤为小型 4 枚,中型 21 枚,大型 8 枚,巨大型 3 枚。对手术方式、并发症和影像学结果进行分析。**结果** PED 加圈组 15 枚,单纯 PED 组 21 枚。两组患者手术成功率为 100%。共植入 PED 40 枚,支架开放不良 5 枚(PED 加圈组 4 枚, PED 组 1 枚)。发生围手术期轻微缺血事件 4 例(PED 加圈组 1 例, PED 组 3 例),均为轻微脑梗死,未遗留神经功能缺失; PED 加圈组 1 例术中发生导丝操作相关出血性并发症,遗留轻度神经功能障碍;两组均无致死性并发症。出院时改良 Rankin 量表(mRS)评分 0 分 33 例,1 分 1 例,3 分 1 例。23 例(65.7%)获影像学随访,中位随访 6 个月(3~24 个月), PED 加圈组、PED 组动脉瘤完全闭塞分别为 9 例(90%,9/10)、9 例(69.2%,9/13),瘤颈残留分别为 1 例(10%,1/10)、3 例(23.1%,3/13); PED 组 1 例与术后即刻造影无明显变化(7.7%,1/13)。**结论** PED 加圈治疗颅内复杂动脉瘤安全有效,可促进瘤囊内血栓形成,可能减少延迟性术后动脉瘤破裂风险,在提高复杂动脉瘤完全闭塞率的同时,并不增加手术操作复杂程度和风险。

【关键词】 Pipeline 栓塞装置; 颅内复杂动脉瘤; 血流导向

中图分类号: R743.4 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2020)-01-0015-06

The treatment of complex intracranial aneurysms with Pipeline embolization device: clinical observation FAN Feng, GUAN Sheng, GUO Xinbin, XU Haowen, YUAN Yongjie, CHEN Zhen, WEI Ying. Department of Interventional Neurology, First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan Province 450052, China

Corresponding author: GUAN Sheng, E-mail: gsradio@126.com

【Abstract】Objective To evaluate the safety and effectiveness of Pipeline embolization device (PED), with or without additional use of coils, in the treatment of complex intracranial aneurysms. **Methods** The clinical data of 35 consecutive patients with complex intracranial aneurysm (36 aneurysms in total), who were treated with PED at the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University of China during the period from April 2015 to March 2018, were retrospectively summarized. The patients included 11 males and 24 females, aged 22-73 years, with an average age of (53.6±12.6) years. The aneurysms were located at the internal carotid (n=33), middle cerebral artery (n=1) and vertebral artery (n=2). One aneurysm was ruptured and 35 aneurysms were unruptured. Thirty aneurysms were saccular in shape, 4 aneurysms were fusiform in shape, and 2 aneurysms took the form of dissection. In aspect of size, the aneurysms were small (n=4), medium (n=21), large (n=8) or giant (n=3). The operative methods, complications and imaging findings were analyzed. **Results** PED plus coils was used for 15 aneurysms (PED+coil group), and simple PED was employed for 21 aneurysms (simple PED group). The success rate of operation was 100% in both groups. A total of 40 PEDs were implanted, and poorly opening of 5 PEDs was observed,

including 4 PEDs in PED+coil group and one PED in simple PED group. Perioperative mild ischemic events occurred in 4 patients, including one patient in PED+coil group and 3 patients in simple PED group, all of them were mild cerebral infarction, and there was no residual neurological deficit. During the operation, one patient of PED+coil group developed guide-wire manipulation-related hemorrhagic complication, resulting in permanent mild neurological dysfunction. No fatal complications occurred in both groups. At the time of discharge, the modified Rankin scale (mRS) score of 0 point was obtained in 33 patients, one point in one patient, and 3 points in one patient. Postoperative imaging follow-up for a median of 6 months (3-24 months) was conducted in 23 patients (65.7%). In PED+coil group and simple PED group the complete occlusion of aneurysm was obtained in 9 patients (90%, 9/10) and 9 patients (69.2%, 9/13) respectively, and the residual aneurysm neck was detected in one patient (10%, 1/10) and 3 patients (23.1%, 3/13) respectively. In one patient (7.7%, 1/13) of simple PED group, immediate postoperative angiography found that the aneurysm showed no obvious change. **Conclusion** For the treatment of complex intracranial aneurysms, PED plus coils therapy is safe and effective, it can promote intracapsular thrombosis of aneurysms and may reduce the risk of postoperative delayed aneurysm rupture. While increasing the complete occlusion rate of complex aneurysms, PED plus coils therapy does not increase the complexity and risk of operation. (J Intervent Radiol, 2020, 29: 15-20)

【 Key words 】 pipeline embolization device; complex intracranial aneurysm; flow diversion

Pipeline 栓塞装置(Pipeline embolization device, PED) 又称带密网支架血流导向装置, 已逐渐应用于更多颅内复杂动脉瘤, 甚至破裂动脉瘤、血泡样动脉瘤等^[1-8]。早期临床上认为 PED 治疗可不辅助弹簧圈, 随着实践经验积累, 发现辅助加圈后除了明显增加医疗费用外, 是否一定会提高 PED 疗效存疑。至于哪些病例可不用加圈, 哪些最好或必须加圈, 加多少圈合适, 加圈是否增加手术操作复杂程度, 从而导致术中并发症增多或手术成功率降低等, 目前尚不很清晰。本研究回顾性总结连续采用 PED 治疗的 35 例患者 36 枚动脉瘤(21 枚未加圈, 15 枚加圈), 现结合文献分析报道如下。

1 材料与方法

1.1 临床资料

回顾性总结 2015 年 4 月至 2018 年 3 月郑州大学第一附属医院采用 PED 治疗的 35 例(36 枚) 颅内复杂动脉瘤患者临床资料。35 例 36 枚动脉瘤中体检发现 7 枚(20%), 有头痛伴眼部症状 6 枚(17.1%), 脑梗死 7 枚(20%), 头痛 7 枚(20%), 头晕 5 枚(14.3%), 颈部不适、复发动脉瘤、颅内出血各 1 枚; 动脉瘤特点见表 1。手术纳入标准: DSA 证实为颅内复杂动脉瘤, 包括大型 / 巨大动脉瘤、宽颈动脉瘤、串联多发动脉瘤、梭形动脉瘤、夹层动脉瘤。排除标准: ①血管通路严重迂曲; ②抗凝抗血小板聚集禁忌和对比剂过敏; ③严重心肝肾功能障碍。

表 1 动脉瘤特点

瘤体参数	枚(%)
类型	
小型	4 (11.1)
中型	21 (58.3)
大型	8 (22.2)
巨大型	3 (8.3)
形态	
囊状	30 (83.3)
梭形	4 (11.1)
夹层	2 (5.6)
位置	
颈内动脉床突段	20 (55.5)
颈内动脉海绵窦段	7 (19.4)
颈内动脉交通段	6 (16.7)
大脑中动脉 M1 段	1 (2.8)
椎动脉 V4 段	2 (5.6)

1.2 血管内治疗方法

患者取仰卧位, 经口气管插管或喉罩置入全身麻醉, 常规双侧腹股沟区消毒铺巾; Seldinger 技术穿刺股动脉, 置入 8 F 动脉导管鞘, 如需填塞弹簧圈, 同法对侧股动脉置入 5 F 动脉导管鞘; 穿刺成功后经静脉推注肝素(50~60 U/kg 体重) 使全身肝素化, 1 h 后再次给予初始剂量半量, 之后每间歇 1 h 追加 1 000 U; 所有患者术前均常规接受全脑血管 DSA 造影和患侧三维旋转重建, 精确测量动脉瘤大小、瘤颈宽度、载瘤动脉远近段血管直径, 选择合适工作位置; 5 F 多功能导管配合 0.035 英寸泥鳅导丝将 8 F Envoy 指引导管置于患侧颈动脉或椎动脉颈段, 将 5 F/6 F Navien 导管经指引导管尽可能高地置入目

标血管,以获得较好支撑力;配合 0.014 英寸微导丝将 Marksman 微导管经 Navien 导管置入大脑中动脉或基底动脉远端,如载瘤动脉血管迂曲或严重瘤样变,单纯微导丝导引 Marksman 微导管到位困难,采用“成襻技术”(即栓塞微导管塑形并经瘤囊内成襻后再超选择至载瘤动脉远端出口)将栓塞微导管置于同侧大脑中动脉或基底动脉远端,解襻后交换置入 300 cm、0.014 英寸 Trancend 微导丝,使 Marksman 微导管置入到位;PED 输送到位,采用反复推拉技术于透视下缓慢释放支架,以完全覆盖动脉瘤瘤颈。对于需要填塞弹簧圈患者,将另一 5 F 指引导管经对侧股动脉 5 F 动脉鞘置于患侧颈内动脉颈段,瘤囊内预置 Headway 17 微导管/Enchlon 10 微导管,以填塞弹簧圈。PED 释放后即刻造影,显示瘤腔内对比剂滞留。VasoCT 评估支架开放情况,若支架打开不良,微导丝成襻配合微导管进入支架内缓慢推拉行“支架内按摩”,以帮助支架开放;若单纯“支架内按摩”效果不好,考虑行支架内球囊扩张。

1.3 围手术期管理

术前常规检测 CYP2C19 基因型,根据氯吡格雷基因代谢类型结果调整氯吡格雷剂量。术前 5~7 d 常规口服双联抗血小板聚集药物(阿司匹林 100 mg/d,氯吡格雷 75/150 mg/d)。术前 1 d 常规检测血栓弹力图,评估患者血小板功能并判断抗血小板聚集药物是否达标。如药物不达标,根据术中情况考虑应用替罗非班。对于破裂动脉瘤,术前不予抗血小板聚集药物准备,术中应用替罗非班(心内科用量的 2/3),术后停用替罗非班前 2 h 给予负荷量口服抗血小板聚集药物(阿司匹林和氯吡格雷各

300 mg),次日按常规剂量口服双抗。术后 6 个月严格双抗治疗,6 个月后根据随访结果继续口服阿司匹林(100 mg/d)1 年以上。对于大型或巨大型动脉瘤,术后给予甘露醇或激素治疗。

1.4 数据分析

采用 SPASS 22.0 软件进行统计学分析。分类数据用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验,连续变量连续分布资料符合正态分布用 T 检验,不符合正态分布用秩和检验。所有假设均在 0.05 显著性水平 α 下进行检验。

2 结果

35 例患者共 36 枚动脉瘤,其中 PED 加圈组 15 枚,单纯 PED 组 21 枚。两组患者年龄、性别分布、瘤体大小基本一致(表 2)。两组患者均顺利完成 PED 释放,手术成功率为 100%(图 1)。共植入 PED 40 枚,其中 PED 加圈组 16 枚(单枚 14 例,2 枚套接 1 例),PED 组 24 枚(单枚 17 例,2 枚套接 2 例,3 枚套接 1 例)。支架开放不良 5 枚,其中 PED 加圈组 4 枚,PED 组 1 枚。发生围手术期轻微缺血事件 4 例,其中 PED 加圈组 1 例,PED 组 3 例,均为轻微脑梗死,未遗留神经功能缺失;PED 加圈组 1 例发生术中导丝穿破大脑中动脉分支血管,紧急弹簧圈闭塞出血点后顺利完成手术,患者遗留轻度神经功能障碍(上肢肌力 3 级,下肢 4 级)(表 3)。出院时改良 Rankin 量表(mRS)评分 0 分 33 例,1 分 1 例,3 分 1 例。23 例(65.7%)患者获影像学中位随访 6 个月(3~24 个月)。DSA、CTA 和对比增强 MRA 复查结果见表 4。

表 2 两组一般资料比较

参数	PED 加圈组 (n=15)	PED 组 (n=21)	总计 (n=36)	t 值	P 值
年龄/岁	53.5 ± 16.3	53.7 ± 9.7	53.6 ± 12.6	-0.038	0.970
男性/n (%)	4 (26.7)	7 (33.3)	11 (30.6)		0.729*
女性/n (%)	11 (73.3)	14 (66.7)	25 (69.4)		
瘤体大小/mm	13.54 ± 4.31	11.85 ± 9.12	12.57 ± 7.40	0.730	0.471

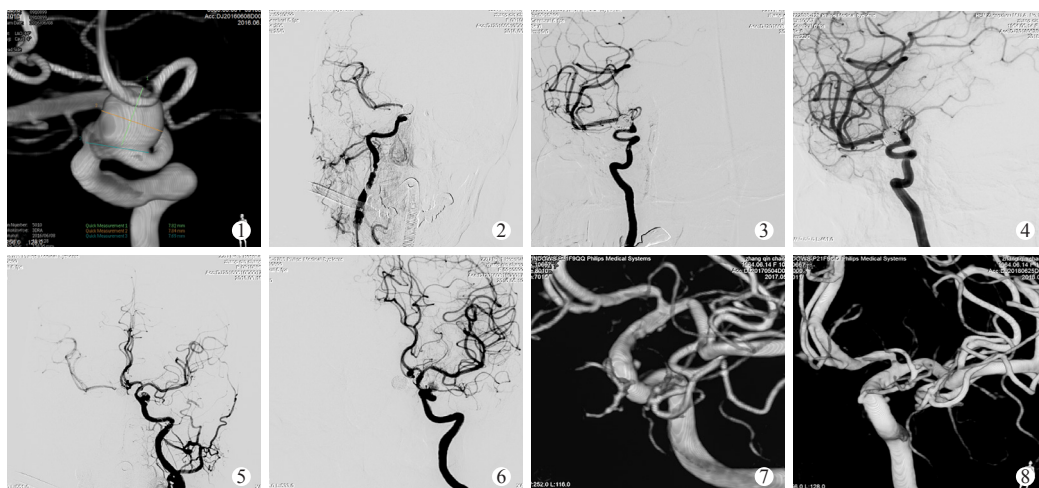
*Fisher 精确检验

3 讨论

3.1 辅助加圈是否提高 PED 疗效

通过文献回顾结合本中心相关数据观察,辅助加圈可增强 PED 治疗效果,明显缩短动脉瘤愈合周期,增加闭塞率,减少再治疗率。本组随访结果显示,几乎所有 PED 治疗患者均呈愈合趋势,平均随访 6 个月时 PED 加圈治疗组瘤体完全闭塞率为

90%(9/10),单纯 PED 组为 69.2%(9/13)。Linze 等^[9]报道分析 PED 加圈与单纯 PED 治疗 122 例颅内动脉瘤效果,平均随访 7 个月显示瘤体完全闭塞率分别为 93%、75%,再次治疗率分别为 3%、16%。Nossek 等^[10]报道采用 PED 加圈治疗 28 例颅内动脉瘤,近期(3~5 个月 MRA 复查)和远期(5~13 个月 DSA 复查)瘤体完全闭塞率均为 100%,无围



①术前右侧颈内动脉床突段未破裂动脉瘤；②PED加圈术后即刻；③术后2个月瘤体完全闭塞；④术后2年动脉瘤愈合良好；⑤左侧颈内动脉床突段未破裂动脉瘤单纯PED术后即刻；⑥术后2个月瘤体明显变大；⑦⑧术后11、24个月显示瘤颈残留

图1 1例双侧颈内动脉瘤患者治疗影像

表3 两组围手术期并发症比较

并发症	PED加圈组 (n=15)	PED组 (n=21)	总计 (n=36)	n (%)	P值
缺血	1 (6.7)	3 (14.3)	4 (11.1)		0.626*
出血	1 (6.7)	0	1 (2.8)		0.417*

*Fisher 精确检验

表4 两组 DSA、CTA 和对比增强 MRA 中位随访 6 个月结果比较

随访结果	PED加圈组 (n=10) 术后4~8个月	PED组 (n=13) 术后3~10个月	总计 (n=23) 术后4~9个月	Z值	P值
完全闭塞	9 (90.0)	9 (69.2)	18 (78.3)	-0.031	0.976
瘤颈残留	1 (10.0)	3 (23.1)	4 (17.4)		0.771*
稳定	0	1 (7.7)	1 (4.4)		

*Fisher 精确检验

手术期并发症。Bender 等^[11]报道 PED 加圈治疗 72 例宽颈动脉瘤,术后 6、12 个月瘤体完全闭塞率分别为 85%、96%。Sweid 等^[12]报道采用 PED 治疗 437 例颅内动脉瘤,其中 74 例辅助加圈,两组瘤体愈合率和预后差异均无统计学意义,但 PED 加圈组瘤体较大 [(13.07 ± 7.00) mm 对 (8.65 ± 6.10) mm, $P < 0.001$]。

目前关于 PED 加圈治疗方案相对统一的理论基础,在于减少大型或巨大型颅内动脉瘤术后延迟破裂风险。大型或巨大型颅内动脉瘤单纯 PED 治疗,可能需较长时间才能达到完全闭塞,动脉瘤未完全愈合前仍有破裂出血的风险。文献报道破裂出血并发症发生率为 3%~4%,多见于大型或巨大型动脉瘤,也不排除中小型动脉瘤,尤其是瘤体 > 10 mm。关于术后动脉瘤延迟破裂的机制较多,比较认同的有动脉瘤壁自溶学说和血流动力学改变

学说。PED 植入后可加速瘤囊内血栓形成。血栓形成后可激活一些蛋白酶如基质金属蛋白酶(MMP)-2、MMP-9,可能参与动脉瘤壁自溶或炎症反应过程,从而诱发动脉瘤壁破裂^[13-14]。近期动物实验表明 PED 植入后可显著增加血液中前体 MMP-9 表达,辅助弹簧圈治疗可降低血液中 MMP-2、MMP-9 水平^[15]。血流动力学改变学说认为, PED 植入后可明显降低入瘤体血流,但瘤腔内瘤壁承受的压力未见减少^[16]。原因可能涉及 PED 植入后血流瘀滞,也可能与短期血栓形成引起瘤腔膨大有关,潜在地诱发动脉瘤破裂。本研究认为 PED 加圈治疗可稳定瘤囊内血栓,加速瘤囊内血栓形成速度,并且弹簧圈在瘤囊内形成框架对瘤顶形成保护的同时,可平衡瘤囊内压力,从而减少复发破裂风险。

3.2 哪些患者需要辅助加圈

本研究认为 PED 对于颅内侧壁型动脉瘤血流

导向效果明显,可以不予辅助加圈,但加圈可能更好;对瘤囊有重要分支血管发出动脉瘤及多发串联中小型动脉瘤,可不加圈,但对位于血管大弯侧、瘤颈口有“喷射征”动脉瘤,即使为中小型也需考虑加圈。

根据文献回顾并结合本研究实践经验,以下情况应考虑辅助加圈治疗:①瘤体直径 $>10\text{ mm}$;②瘤颈口有喷射征(不论动脉瘤大小均予加圈,且强化加圈,争取瘤颈口处有圈覆盖);③瘤体形态不规则,有子囊,或存在先兆破裂征象,如症状加重;④瘤体破裂出血;⑤瘤体呈血泡样(尽量多加圈,且需短期复查)^[8];⑥单纯 PED 有缩短移位或疝入瘤囊风险(辅助圈提供支撑);⑦术前高分辨 MRI 瘤壁明显强化提示瘤壁不稳定。

3.3 加多少圈合适

至于加多少圈合适,目前尚无定论,但一般不必致密填塞。本中心参考动脉瘤囊大小,尤其是瘤颈口血流动力学特点给予个体化实施。对于大型或巨大动脉瘤,建议加圈 $10\%\sim 20\%$;对于已破裂或有破裂倾向动脉瘤,应尽量多地填塞破裂囊/子囊或瘤囊薄弱点;对于需支撑瘤囊,尽量选择偏硬一点的 3D 大圈;对于瘤颈口有喷射征瘤体,建议多加圈或结合 PED 套叠技术。Siddiqui 等^[17]报道分析 1 例巨大脑中动脉动脉瘤经双 PED 辅助弹簧圈密实填塞后继发严重血栓形成原因,认为可能是占位效应和密实填塞后致栓性缘故,提出 PED 治疗大型或巨大型颅内远端动脉瘤时予以低密度弹簧圈填塞。Nossek 等^[10]研究建议行次全填塞。Bender 等^[11]报道建议予以 14% 轻度填塞。

3.4 加圈会否增加手术风险

本组患者中仅 1 例发生术中出血,为微导丝刺破远端小血管所致,与加圈与否无关,经及时处理后出院时 mRS 评分为 3 分。对于大部分加圈患者,瘤体较大,填塞不苛求致密,故未增加围手术期出血风险。但未破裂巨大动脉瘤术后出血是否与加圈有关目前尚不明确。尽管本组患者尚未遭遇这种情况,仍会密切关注相关研究进展,且认为该出血可能与瘤颈口血流动力学在覆盖密网支架后并未完全有效纠正,致使术后即刻至一定时间段内囊内压持续升高及术后抗凝有关。本研究尝试术中 1 例植入 PED 前后瘤囊内测压,发现确实有升高。囊内压逐渐增高至瘤颈口与载瘤动脉压力平衡后,才能取得最后真正安全,而这之前瘤囊均有可能增大、渗血或不愈合,瘤囊越大这种现象可能越突出。加圈可能

有助于降低这种风险,但短时间囊内大量血栓形成会否引起囊壁自溶,有待进一步研究。

本组有 4 例发生围手术期轻微缺血事件,其中 PED 加圈组、单纯 PED 组分别为 1 例、3 例,经对症处理后均完全恢复。轻微缺血事件发生均考虑为腔内操作整体细节不周所致,但由于本组病例较少,不能完全排除加圈会增加缺血风险。理论上加圈有潜在致栓风险。预置栓塞微导管和过多弹簧圈填塞可能影响支架开放,术中应仔细观察 PED 是否完全打开、贴壁。为了避免先单独填圈影响观察支架打开、贴壁情况,一般均先将栓塞微导管与支架输送系统通过长鞘并置,而栓塞微导管在支架与载瘤动脉壁间可能影响支架局部贴壁性。因此建议,完成填圈后拔出微导管,再作支架内按摩或扩张,如微导丝/微导管成襻或球囊扩张。

Park 等^[18]报道一项 PED 加圈(109 例)和单纯 PED(797 例)治疗后并发症注册研究,结果显示 PED 加圈组动脉瘤较大(13.6 mm 对 10.3 mm),不常位于颈内动脉(64% 对 77%),且操作时间较长(136 min 对 97 min),神经功能并发症较多(12.5% 对 7.8%),但差异均无统计学意义。Lin 等^[5]、Park 等^[18]报道中 PED 加圈术后神经功能并发症发生率分别为 10.3% 、 3.1% 。文献报道中无明确证据提示 PED 加圈治疗增加围手术期风险^[19]。

3.5 加圈会否增加手术操作

PED 加圈治疗的确增加手术步骤。早期多应用双侧股动脉穿刺入路,分别将 8 F 和 5 F 指引导管并行置于颈动脉起始段,6 F Navien 导管经 8 F 指引导管上引接近瘤颈口,Marksman 微导管经 6 F Navien 导管跨越瘤颈,送至载瘤动脉远端,栓塞微导管经 5 F 指引导管预置至动脉瘤腔。本研究后期对 PED 加圈栓塞技术作了改进,即单侧动脉穿刺置入 7 F 长鞘于颈内动脉开口平直段,5 F Navien 导管与 Enchlon 10/14 微导管并行通过 7 F 长鞘,预置至瘤囊内,5 F Navien 导管接近瘤颈口,Marksman 微导管经 5 F Navien 导管越过瘤颈至远端释放 PED,经 Enchlon 微导管进行弹簧圈填塞。此法可避免双侧股动脉穿刺,优化了手术流程。由于并未增加太多操作步骤,手术时间未延迟多少,因此不会增加手术操作复杂程度。

总之,结合本组临床经验及综合文献报道,本研究认为 PED 加圈治疗颅内复杂动脉瘤安全有效,可促进瘤囊内血栓形成,可能减少延迟性术后动脉瘤破裂风险,在提高复杂动脉瘤完全闭塞率的同时,并

不增加手术操作复杂程度和风险。相信随着相关技术和材料不断改进,未来颅内动脉瘤介入手术会变得更加简单、安全有效。

[参 考 文 献]

- [1] Nelson PK, Lylyk P, Szikora I, et al. The Pipeline embolization device for the intracranial treatment of aneurysms trial[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2011, 32: 34-40.
- [2] Becske T, Potts MB, Shapiro M, et al. Pipeline for uncoilable or failed aneurysms: 3-year follow-up results[J]. *J Neurosurg*, 2017, 127: 81-88.
- [3] Becske 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.
- [4] Adeb N, Griessenauer CJ, Foreman PM, et al. Comparison of stent-assisted coil embolization and the Pipeline embolization device for endovascular treatment of ophthalmic segment aneurysms: a multicenter cohort study[J]. *World Neurosurg*, 2017, 105: 206-212.
- [5] Lin N, Brouillard AM, Xiang JP, et al. Endovascular management of adjacent tandem intracranial aneurysms: utilization of stent-assisted coiling and flow diversion[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2015, 157: 379-387.
- [6] de Barros Faria M, Castro RN, Lundquist J, et al. The role of the Pipeline embolization device for the treatment of dissecting intracranial aneurysms[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2011, 32: 2192-2195.
- [7] Daou B, Starke RM, Chalouhi N, et al. Pipeline embolization device in the treatment of recurrent previously stented cerebral aneurysms[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2016, 37: 849-855.
- [8] Zhu D, Yan Y, Zhao P, et al. Safety and efficacy of flow diverter treatment for blood blister-like aneurysm: a systematic review and meta-analysis[J]. *World Neurosurg*, 2018, 118: e79-e86.
- [9] Linzey JR, Griaude J, Guan Z, et al. Stent-assisted coiling of cerebrovascular aneurysms: experience at a large tertiary care center with a focus on predictors of recurrence[J]. *J Neurointerv Surg*, 2017, 9: 1081-1085.
- [10] Nossek E, Chalif DJ, Chakraborty S, et al. Concurrent use of the Pipeline embolization device and coils for intracranial aneurysms: technique, safety, and efficacy[J]. *J Neurosurg*, 2015, 122: 904-911.
- [11] Bender MT, Jiang B, Campos JK, et al. Single-stage flow diversion with adjunctive coiling for cerebral aneurysm: outcomes and technical considerations in 72 cases[J]. *J Neurointerv Surg*, 2018, 10: 843-850.
- [12] Sweid A, Atallah E, Herial N, et al. Pipeline-assisted coiling versus pipeline in flow diversion treatment of intracranial aneurysms[J]. *J Clin Neurosci*, 2018, 58: 20-24.
- [13] Jin D, Sheng J, Yang X, et al. Matrix metalloproteinases and tissue inhibitors of metalloproteinases expression in human cerebral ruptured and unruptured aneurysm[J]. *Surg Neurol*, 2007, 68 (Suppl 2): S11-S16.
- [14] Tulamo R, Frosen J, Hernesniemi J, et al. Inflammatory changes in the aneurysm wall: a review[J]. *J Neurointerv Surg*, 2010, 2: 120-130.
- [15] Thielen E, McClure M, Rouchaud A, et al. Concomitant coiling reduces metalloproteinase levels in flow diverter-treated aneurysms but anti-inflammatory treatment has no effect[J]. *J Neurointerv Surg*, 2017, 9: 307-310.
- [16] Shobayashi Y, Tateshima S, Kakizaki R, et al. Intra-aneurysmal hemodynamic alterations by a self-expandable intracranial stent and flow diversion stent: high intra-aneurysmal pressure remains regardless of flow velocity reduction[J]. *J Neurointerv Surg*, 2013, 5 (Suppl 3): iii38-iii42.
- [17] Siddiqui AH, Kan P, Abila AA, et al. Complications after treatment with pipeline embolization for giant distal intracranial aneurysms with or without coil embolization[J]. *Neurosurgery*, 2012, 71: e509-e513.
- [18] Park M, Kilburg C, Taussky P, et al. Pipeline embolization device with or without adjunctive coil embolization: analysis of complications from the IntrePED registry[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2016, 37: 1127-1131.
- [19] Qassim AM, Guan s, Saidi H, et al. Effectiveness of MRA on embolized intracranial aneurysms: a comparison of DSA, CE-MRA, and TOF-MRA[J]. *J Intervent Med*, 2018, 1: 32-41.

(收稿日期: 2018-12-07)

(本文编辑: 边 倩)