

· 论 著 ·

Tubridge 血流导向装置治疗颅内大型未破动脉瘤

田 其 杨锐博 韩守孟 王军民 陈 刚 陈谦学 李明昌

【摘要】目的 探讨Tubridge血流导向装置(TFD)治疗颅内大型未破动脉瘤的安全性和疗效。**方法** 回顾性分析2018年7月至2019年7月采用TFD治疗的8例颅内大型未破动脉瘤的临床资料,其中3例采用单纯TFD治疗,5例采用TFD+弹簧圈栓塞治疗。**结果** 8例共8个动脉瘤,共置入Tubridge支架8枚,其中7枚支架均成功置入并打开良好;1枚支架术中部分打开不良,经微导丝按摩后完全打开;支架置入成功率为100%。5例TFD+弹簧圈栓塞治疗术后即刻造影显示Raymond分级Ⅲ级2例,Ⅱ级3例;3例采用单纯TFD置入术后即刻造影显示动脉瘤腔内造影剂明显滞留。术后即刻造影显示脉络膜前动脉、后交通动脉及眼动脉等分支动脉显影通畅,未见明显狭窄。术后复查DSA及颅脑CT未见出血及缺血事件。8例门诊随访6~24个月,4例症状完全消失,3例明显改善,1例体检发现病人手术前后均无临床症状。5例DSA随访6~12个月,动脉瘤均不显影(Raymond分级Ⅰ级,其中TFD+弹簧圈治疗3例,单纯TFD治疗2例)。**结论** TFD治疗颅内大型未破动脉瘤安全性高,短期疗效满意,长期疗效有待进一步研究。

【关键词】 颅内动脉瘤;大型动脉瘤;未破裂动脉瘤;血管内治疗;Tubridge血流导向装置;疗效

【文章编号】 1009-153X(2021)06-0414-05 **【文献标志码】** A **【中国图书资料分类号】** R 743.9; R 815.2

Safety and efficacy of Tubridge flow-diverter devices for patients with large unruptured intracranial aneurysm (report of 8 cases)

TIAN Qi, YANG Rui-bo, HAN Shou-men, WANG Jun-ming, CHEN Gang, CHEN Qian-xue, LI Ming-chang. Department of Neurosurgery, Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan 430060, China

【Abstract】 Objective To explore the safety and efficacy of Tubridge flow-diverter devices (TFD) for the patients with large unruptured intracranial aneurysm. **Methods** The clinical data of 8 patients with large unruptured intracranial aneurysm, of whom 5 were treated with TFD and coil embolization and 3 with simple TFD, from July 2018 to July 2019 were analyzed retrospectively. **Results** These 8 patients with 8 aneurysms received 8 Tubridge stents which were successfully implanted. Immediate angiography after TFD+coil embolization in 5 patients showed Raymond grade Ⅲ in 2 patients and grade Ⅱ in 3. Immediate angiography after simple TFD implantation in 3 patients showed significant retention of contrast agent in the aneurysms. Immediate postoperative angiography showed that the branch arteries such as the anterior choroidal artery, posterior communicating artery, and ophthalmic artery were patency without obvious stenosis in all the patients. There were no bleeding and ischemic events after the operation. The outpatient follow up (6~24 months) of these 8 patients showed complete disappearance of symptoms in 4 patients, marked improvement in 3, and no symptom before and after the operation in 1. The DSA follow-up (6~12 months) of 5 patients showed Raymond grade Ⅰ in 5 patients, including 3 patients treated with TFD+coil embolization and 2 with simple TFD. **Conclusion** For large unruptured intracranial aneurysms, TFD is safe and its short outcomes are good, but its long-term effectiveness needs further follow-up.

【Key words】 Intracranial aneurysm; Large aneurysm; Unruptured aneurysm; Endovascular treatment; Tubridge flow-diverter devices; Safety; Efficacy

研究报道,大型(10~25 mm)和巨大型(>25 mm)颅内动脉瘤较小型动脉瘤破裂可能性更大,预后更差^[1]。尽管目前介入治疗技术和材料有了很大的发展,但是颅内大型、巨大型动脉瘤的治疗仍然存

在较高的并发症和复发率^[2]。血流导向装置(flow-diverter devices, FDD)能改变血流方向,减缓瘤腔内血流对瘤腔壁的冲击,促进瘤腔内血栓形成,逐渐成为颅内大型、巨大型动脉瘤的有效治疗手段。Tubridge 血流导向装置(Tubridge FDD, TFD)是我国自主研发设计的一款新型FDD,具有低孔率和高金属覆盖率等特点,动物实验证实其有效性和安全性^[3]。2018年,一项多中心、临床随机对照研究报道TFD治疗大型、巨大型颅内动脉瘤较传统的Enterprise支架辅助有着更高的动脉瘤闭塞率,并且

doi:10.13798/j.issn.1009-153X.2021.06.004

基金项目:国家自然科学基金(81971870)

作者单位:430060 武汉,武汉大学人民医院神经外科(田 其、杨锐博、韩守孟、王军民、陈 刚、陈谦学、李明昌)

通讯作者:李明昌, E-mail: mingcli@whu.edu.cn

不增加并发症发生率^[4]。2018 年 7 月至 2019 年 7 月应用 TFD 治疗的颅内大型动脉瘤 8 例,其中 3 例单纯 TFD 治疗,5 例 TFD+弹簧圈治疗,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 研究对象 8 例均为女性;年龄 49~69 岁,平均(59±9.5)岁。头痛 3 例,脑神经压迫症状(视力下降、动眼神经麻痹)3 例,同时有头痛和脑神经压迫症状(视力下降)1 例,体检发现 1 例。

1.2 影像学检查 均行 DSA 检查明确诊断。均为单发动脉瘤,位于颈内动脉海绵窦段 4 例、颈内动脉后交通段 2 例、颈内动脉眼动脉段 2 例。瘤颈宽 5.0~12 mm,平均(7.9±2.3) mm;动脉瘤最大直径 12~25 mm,平均(20.6±3.9) mm。

1.3 治疗方法

1.3.1 术前准备 完善血栓弹力图、阿司匹林和波立维耐药基因检测;快代谢型每日口服阿司匹林 100 mg 及氯吡格雷 75 mg,至少连续 5 d;慢代谢型则改用替格瑞洛 90 mg,每日两次。

1.3.2 手术方法 均采用全麻,常规股动脉穿刺。单纯 TFD 治疗 3 例,单侧股动脉置入 6F 动脉鞘;TFD+弹簧圈治疗 5 例,双侧置入动脉鞘(一侧 5F,一侧 6F)。指引导管、Y 阀和三通均连接已经排空气体的加压滴注。全身肝素化后(抗凝首次给予肝素 50 IU/

kg,每小时追加肝素,其剂量为前 1 次剂量的一半,最小剂量为 1 000 IU/h,直至手术结束),将 6F 指引导管头端置于颈内动脉岩骨段,在微导丝引导下将 T-Track 支架导管超选至大脑中动脉 M1 段。同法将另外一根 6F 指引导管头端放置于颈内动脉岩骨段,经该指引导管在微导丝引导下将微导管超选至动脉瘤瘤腔内。Tubridge 经支架导管输送至支架导管头端,经透视准确定位后,缓慢回撤支架导管。支架释放接近动脉瘤时,通过推送支架和回撤支架导管的配合,可增加瘤颈处金属覆盖率,使得进入瘤腔的血流进一步减少,增加血流导向作用。术中支架选择宁长勿短,在满足动脉瘤上下两端锚定距离的同时,尽量避免对分支血管的覆盖。术中如出现支架打开不良等情况,可用微导丝按摩或球囊扩张辅助支架打开贴壁。术后即刻 DSA 检查栓塞程度及血流滞留情况,Dyna CT 评估支架打开情况和有无出血。

1.3.3 术后管理 术后皮下注射低分子肝素,3 000 U/次,1 次/12 h,连续 3 d;口服拜阿司匹林 100 mg+氯吡格雷 75 mg,1 次/d;6 个月后改口服拜阿司匹林 100 mg,1 次/d,终身服用。

1.4 随访 术后采取门诊和住院随访,门诊随访记录临床症状改善情况,包括:①症状完全消失,脑神经压迫症状(动眼神经麻痹,视力下降)和头痛完全消失;②症状改善,症状仍有,但是频率或程度较前减

表 1 本文 8 例 Tubridge 血流导向装置治疗的颅内大型未破动脉瘤的临床资料

病例	性别/ 年龄 (岁)	临床症状	动脉瘤位置	瘤颈 (mm)	大小 (mm)	栓塞方 式	造影剂滞 留	Raymond 分级		随访	
								术后即刻	末次随访	方式	时间 (月)
病例 1	女/69	头痛	左侧颈内动脉 眼动脉段	6.5	12×21	TFD+弹 簧圈	无	Ⅱ级		门诊	9
病例 2	女/49	视力下降	右侧颈内动脉 眼动脉段	9	11×12	TFD	是	造影剂明 显滞留	I 级	DSA/ 门诊	6/24
病例 3	女/59	动眼神经 麻痹	左侧颈内动脉 交通段	7	16×19	TFD	是	造影剂明 显滞留	I 级	DSA/ 门诊	8/20
病例 4	女/57	头痛	右侧颈内动脉 海绵窦段	5	10×22	TFD+弹 簧圈	无	Ⅱ级	I 级	DSA/ 门诊	8/18
病例 5	女/57	动眼神经 麻痹	右侧颈内动脉 海绵窦段	10	15×22	TFD+弹 簧圈	无	Ⅲ级	I 级	DSA/ 门诊	12/6
病例 6	女/77	头痛	左侧颈内动脉 海绵窦段	12	15×23	TFD+弹 簧圈	无	Ⅲ级		门诊	7
病例 7	女/53	无	左侧颈内动脉 交通段	6	20×25	TFD+弹 簧圈	无	Ⅱ级	I 级	DSA/ 门诊	6/12
病例 8	女/51	头痛、视 力下降	左侧颈内动脉 海绵窦段	8	15×21	TFD	是	造影剂明 显滞留		门诊	8

轻;③症状无变化,症状跟之前没有区别;④症状加重,症状程度和频率较前增加。住院随访进一步行 DSA 检查,采用 Raymond 分级进行评估栓塞情况,检测 TFD 覆盖分支血管(主要为眼动脉及后交通动脉)是否通畅。

2 结果

2.1 手术结果 8 例共 8 个动脉瘤,置入 8 枚 TFD,其中 7 枚支架均成功置入并打开良好;1 枚在经过颈内动脉眼动脉段近端的弯曲处时打开不良,未完全贴壁,经微导丝“按摩”后,完全打开。5 例 5 个动脉瘤行 TFD+弹簧圈栓塞治疗术后即刻造影显示 Raymond 分级Ⅲ级 2 例,Ⅱ级 3 例;3 例 3 个动脉瘤采用单纯 TFD 置入术后即刻造影显示动脉瘤瘤腔内造影剂明显滞留。脉络膜前动脉、后交通动脉及眼动脉等分支动脉显影通畅,未见明显狭窄。术后复查 DSA 及颅脑 CT 未见出血及缺血事件。

2.2 随访结果 8 例全部行门诊随访,随访时间 3~20 个月。4 例症状完全消失,3 例改善,1 例因体检发现

病人手术前后均无症状。5 例术后 DSA 随访 6~12 个月,动脉瘤均不显影(Raymond 分级Ⅰ级,其中 TFD+弹簧圈治疗 3 例,单纯 TFD 治疗 2 例;图 1、2)。

3 讨论

在 FDD 出现之前,颅内大型、巨大型动脉瘤主要采用单纯弹簧圈栓塞、球囊辅助栓塞、支架辅助栓塞和闭塞颈内动脉等,其中单纯弹簧圈栓塞复发率高;球囊和支架辅助栓塞复发率相对较低,但仍有一定的复发率(20%~50%)^[5];闭塞颈内动脉需满足对侧颈内动脉能够完全代偿同侧闭塞后对双侧的大脑前及大脑中的供血,但是即便球囊闭塞试验阴性显示对侧代偿良好,也仍有一定的缺血风险,因此不是理想的治疗手段^[6]。FDD 的出现改变了传统的血管内栓塞治疗颅内动脉瘤的理念,尤其是瘤体大、颈宽、解剖困难的动脉瘤^[7]。FDD 较普通支架有着更高的金属覆盖率,例如 Tubridge、Pipeline 和 Silk FD 的金属覆盖率在 30%~35%,Surpass 金属覆盖率为 30%,而传统支架金属覆盖率大多在 10%~20%,因此,FDD 有更明显的血流导向作用和减缓血流进入瘤腔,进而促进瘤内血栓形成的作用。为了证实 FDD 的分流效果,Jankowitz 等^[8]对低金属覆盖率支架(ATLAS 和 Enterprise)、中等金属覆盖率支架(LVIS)和高金属覆盖率支架(Pipeline)三种方法治疗颅内动脉瘤的模型进行计算机流量分析,发现与其他支架相比,Pipeline 治疗后,动脉瘤最大壁面剪应力明显较低,瘤腔血流入率明显减少。

TFD 是我国自主研发的一种血流导向装置,为

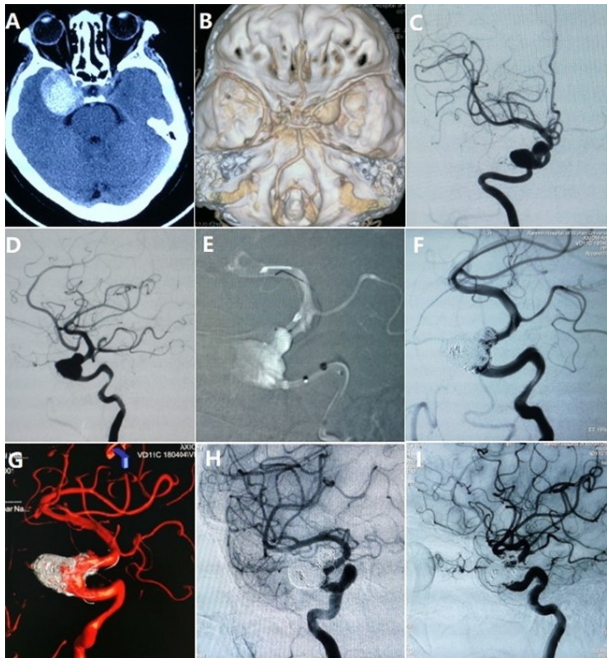


图 1 右侧颈内动脉眼段大型动脉瘤 Tubridge 血流导向装置+弹簧圈栓塞治疗前后影像

A. 术前头部 CT 示右侧颞叶类圆形高密度影;B. 术前头部 CTA 示右侧颈内动脉眼动脉段大型动脉瘤;C、D. 术前 DSA 正、侧位证实右侧颈内动脉眼动脉段大型颅内动脉瘤;E. 术中支架导管及微导管到位后,缓慢释放一枚 Tubridge 血流重建装置;F. 术中继续疏松填塞几枚弹簧圈后即刻造影显示动脉瘤瘤体及瘤颈显影延迟;G. 术后血管融合影像显示支架完全打开,完全贴壁;H、I. 术后 6 个月 DSA 正侧位显示动脉瘤完全闭塞

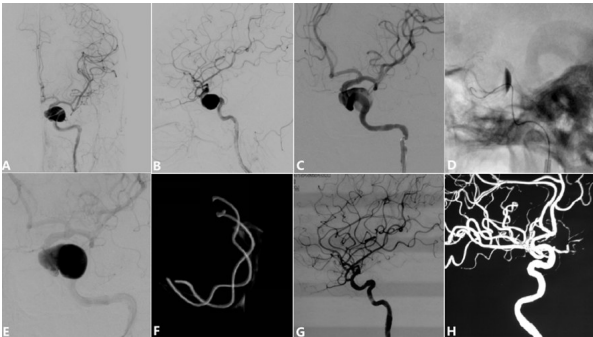


图 2 左侧颈内动脉海绵窦段大型动脉瘤 Tubridge 血流重建装置治疗前后影像

A、B. 术前 DSA 正侧位显示左侧颈内动脉海绵窦段大型动脉瘤;C. 术前 DSA 工作角度显示载瘤动脉及瘤颈;D. 术中释放 Tubridge 支架后即刻非减影像;E. 术后造影显示造影剂滞留明显;F. Dyna CT 显示 Tubridge 血流导向装置打开良好;G. 术后 8 个月复查 DSA 显示动脉瘤完全闭塞(侧位);H. 术后 8 个月 3D-DSA 见右侧颈内动脉海绵窦段血管重建良好

镍钛合金自膨式编织而成,膨胀范围为 0.5 mm,选择与血管直径差别小于 0.5 mm 的支架均能达到良好贴壁的效果。此外,TFD 具有柔顺性和变形性的特点,即便对于迂曲血管也能完全打开而不引起折叠,“推拉技术”可提高局部网孔密度,提供更加明显的血流导向作用。文献报道,Pipeline 治疗颅内大型动脉瘤,术后 6 个月闭塞率约为 75%(111/148),12 个月闭塞率可达到 85.5%(94/110),而总体并发症发生率为 7.1%(78/1091)^[9]。而最近的一项研究应用 TFD 治疗颅内动脉瘤,结果显示 6 个月完全闭塞率为 75.3%,长期随访(平均 29.6 月)完全闭塞率可达 92.3%(48/52),而总体并发症发生率仅为 2.2%(3/139)^[10]。这些数据表明 FDD 治疗颅内动脉瘤,尤其是大型或巨大型动脉瘤,较常规血管内栓塞有更好的治疗效果。

血管壁贴附是 FDD 治疗后动脉瘤完全闭塞的关键因素,如果支架没有良好的贴壁,需要考虑微导丝塑性后按摩支架,甚至球囊扩张等辅助措施,提高支架贴壁性,从而提高动脉瘤闭塞率和降低支架内血栓形成的几率。术后可行 DynaCT 评估支架打开程度和贴壁情况。本文 1 例术中支架打开不良,J 型导丝带微导管通过支架内部,于支架打开不良处反复旋转导丝,Dyna CT 确认支架贴壁良好后,撤出微导管导丝。

FDD 治疗的并发症主要包括分支血管栓塞、动脉瘤破裂出血和血栓栓塞引起的脑梗死等。由于 FDD 的高金属覆盖率,因此,FDD 覆盖的分支血管是是否能够保留,也是备受关注的热点问题。有学者应用 Pipeline 治疗 20 眼动脉动脉瘤,随访显示眼动脉闭塞率高达 20%^[11]。另有研究回顾性分析应用 FDD 治疗的 140 例颅内动脉瘤(147 个)的临床资料,末次随访发现分支血管闭塞率高达 21%^[12]。Bhagal 等^[13]回顾性分析 13 项应用 Pipeline 治疗的 1 043 例颅内动脉瘤,分支血管闭塞总体发生率为 2.3%。方亦斌等^[14]报道应用 Tubridge 治疗的 73 例颅内动脉瘤,术后 6 个月 DSA 随访显示分支血管闭塞率为 2.9%(3/104)。造成分支血管闭塞的原因可能是支架释放操作经验不足以及抗血小板药物不当。随着 FDD 应用经验的逐渐积累,分支血管的闭塞率明显下降。我们术中保证瘤颈上下端锚定距离的同时尽量避开分支血管,同时术中采取替罗非班静脉持续泵入,手术前后规范服用双抗,随访显示分支血管均未闭塞,提示支架打开完全以及规范抗血小板药物的使用是避免分支血管闭塞的重要手段。对于 TFD 的长度选择,我们通常保证上下两端锚定距离至少 6 mm,但

根据临床具体情况而定,对于载瘤动脉迂曲、宽颈动脉瘤等,两端锚定长度需要 10 mm 或者更长^[15]。

术后再出血是 FDD 治疗大型动脉瘤最危险的并发症之一。一项 meta 分析纳入 2 508 例(2 826 个动脉瘤),结果显示 FDD 术后再出血发生率约 2%^[16],但相比于常规弹簧圈栓塞出血风险要低^[17]。研究发现,FDD 置入后会改变瘤内的压力,局部剪切力的变化及其不平衡性可能是术后再次破裂的潜在机制^[18]。因此,Zhou 等^[2]建议 FDD 加弹簧圈辅助栓塞,以便减少术后出血率。本文病例动脉瘤形状不规则、无分支血管由动脉瘤发出时加用弹簧圈填塞治疗,未见术后再出血,而 DSA 复查显示动脉瘤完全闭塞,载瘤动脉重建良好,提示动脉瘤内填塞部分弹簧圈,有加速动脉瘤内血栓形成和闭塞的作用;而对于瘤体规则的 3 例,采取单纯 TFD 治疗,支架置入后均可见造影剂明显滞留;尽管术后即刻造影显示 Raymond 分级 II~III 级,但是 6 个月 DSA 随访显示动脉瘤均完全闭塞,Raymond 分级 I 级,载瘤动脉重建良好,提示 TFD 置入后,能明显较少动脉瘤瘤腔内血流速度,有加速动脉瘤内血栓形成和闭塞的作用,进而减少术后出血风险等。

综上所述,TFD 治疗颅内大型未破动脉瘤是安全有效的,其闭塞率随着时间的推移呈逐渐增加的趋势。但本文病例相对较少,随访时间相对较短,其远期疗效有待进一步证实。

【参考文献】

[1] Barrow DL, Alleyne C. Natural history of giant intracranial aneurysms and indications for intervention [J]. Clin Neurosurg, 1995, 42: 214-244.

[2] Zhou Y, Yang PF, Fang YB, *et al.* A novel flow-diverting device (Tubridge) for the treatment of 28 large or giant intracranial aneurysms: a single-center experience [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2014, 35(12): 2326-2333.

[3] Hong B, Wang K, Huang Q, *et al.* Effects of metal coverage rate of flow diversion device on neointimal growth at side branch ostium and stented artery: an animal experiment in rabbit abdominal aorta [J]. Neuroradiology, 2012, 54(8): 849-855.

[4] Liu J M, Zhou Y, Li Y, *et al.* Parent artery reconstruction for large or giant cerebral aneurysms using the tubridge flow diverter: a multicenter, randomized, controlled clinical trial (PARAT) [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2018, 39: 807-816.

- [5] Turfe Z A, Brinjikji W, Murad MH, *et al.* Endovascular coiling versus parent artery occlusion for treatment of cavernous carotid aneurysms: a meta-analysis [J]. *J Neurointerv Surg*, 2015, 7(4): 250-255.
- [6] Gonzalez NR, Duckwiler G, Jahan R, *et al.* Challenges in the endovascular treatment of giant intracranial aneurysms [J]. *Neurosurgery*, 2006, 59(5 Suppl 3): S113-S124, S3-S13.
- [7] Chalouhi N, Chitale R, Starke RM, *et al.* Treatment of recurrent intracranial aneurysms with the Pipeline Embolization Device [J]. *J Neurointerv Surg*, 2014, 6(1): 19-23.
- [8] Jankowitz BT, Gross BA, Seshadri S, *et al.* Hemodynamic differences between Pipeline and coil-adjunctive intracranial stents [J]. *J Neurointerv Surg*, 2019, 11(9): 908-911.
- [9] Kallmes D F, Brinjikji W, Cekirge S, *et al.* Safety and efficacy of the Pipeline embolization device for treatment of intracranial aneurysms: a pooled analysis of 3 large studies [J]. *J Neurosurg*, 2017, 127(4): 775-780.
- [10] 赵 瑞, 吕 楠, 周 宇, 等. 血流导向装置治疗椎动脉夹层动脉瘤的单中心临床经验[J]. 中华神经外科杂志, 2019, 35(9): 890-894.
- [11] Puffer RC, Kallmes DF, Cloft HJ, *et al.* Patency of the ophthalmic artery after flow diversion treatment of paraclinoid aneurysms [J]. *J Neurosurg*, 2012, 116(4): 892-896.
- [12] Chalouhi N, Zanaty M, Whiting A, *et al.* Treatment of ruptured intracranial aneurysms with the pipeline embolization device [J]. *Neurosurgery*, 2015, 76(2): 165-172, 172.
- [13] Bhogal P, Ganslandt O, Bazner H, *et al.* The fate of side branches covered by flow diverters- results from 140 patients [J]. *World Neurosurg*, 2017, 103: 789-798.
- [14] 方亦斌, 吕 楠, 周 宇, 等. Tubridge 血流导向装置在治疗颅内动脉瘤中覆盖分支血管的安全性分析[J]. 中华神经外科杂志, 2019, 35(10): 1017-1021.
- [15] 李 立, 李天晓, 邵秋季, 等. 国产Tubridge血流导向装置治疗未破裂颅内动脉瘤 [J]. 中华神经外科杂志, 2019, 35(9): 909-913.
- [16] Ye G, Zhang M, Deng L, *et al.* Meta-analysis of the efficiency and prognosis of intracranial aneurysm treated with flow diverter devices [J]. *J Mol Neurosci*, 2016, 59(1): 158-167.
- [17] Kallmes D F, Hanel R, Lopes D, *et al.* International retrospective study of the pipeline embolization device: a multicenter aneurysm treatment study [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2015, 36(1): 108-115.
- [18] Cebal JR, Mut F, Raschi M, *et al.* Aneurysm rupture following treatment with flow-diverting stents: computational hemodynamics analysis of treatment [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2011, 32(1): 27-33.
- (2020-09-01 收稿, 2021-01-25 修回)
-
- (上接第413页)
- [2] Jeson Y, Kim JE, Park SB, *et al.* Quantitative analysis of intraoperative indocyanine green video angiography in aneurysm surgery [J]. *J Cerebrovasc Neurosurg*, 2013, 15(2): 76-84.
- [3] Oda J, Kato Y, Chen SF, *et al.* Intraoperative near-infrared indocyanine green - videoangiography (ICG - VA) and graphic analysis of fluorescence intensity in cerebral aneurysm surgery [J]. *J Clin Neurosci*, 2011, 18: 1097-1100.
- [4] Saito M, Saga T, Hayashi H, *et al.* Quantitative blood flow assessment by multiparameter analysis of indocyanine green video angiography [J]. *World Neurosurg*, 2018, 116: e1-e7.
- [5] Kamp MA, Slotty P, Turowski B, *et al.* Microscope-integrated quantitative analysis of intraoperative indocyanine green fluorescence angiography for blood flow assessment: first experience in 30 patients [J]. *Neurosurgery*, 2012, 70: ons65-ons74.
- [6] Kobayashi S, Ishikawa T, Tanabe J, *et al.* Quantitative cerebral perfusion assessment using microscope-integrated analysis of intraoperative indocyanine green fluorescence angiography versus positron emission tomography in superficial temporal artery to middle cerebral artery anastomosis [J]. *Surg Neurol Int*, 2014, 5: 135.
- [7] Goertz L, Hof M, Timmer M, *et al.* Application of intraoperative flow 800 indocyanine green videoangiography color-coded maps for microsurgical clipping of intracranial aneurysms [J]. *World Neurosurg*, 2019, 131: e192-e200.
- [8] Schubert GA, Selz-Rosenhagen M, Czabanka M, *et al.* Cortical indocyanine green videography for quantification of acute hypoperfusion after subarachnoid hemorrhage: a feasibility study [J]. *Neurosurgery*, 2012, 71: ons260-ons268.
- [9] Chen SF, Kato Y, Oda J, *et al.* The application of intraoperative near-infrared indocyanine green videoangiography and analysis of fluorescence intensity in cerebrovascular surgery [J]. *Surg Neurol Int*, 2011, 2: 42.
- (2021-05-25 收稿, 2021-06-02 修回)