

国产 Tubridge 血流导向装置治疗中小型颅内动脉瘤的短期疗效及安全性分析

徐李刚, 万 军, 张 磊, 王震宇, 张文佳, 陈 庆

【摘要】 目的 评估国产 Tubridge 治疗中小型颅内动脉瘤的短期疗效和安全性。**方法** 回顾性分析 2020 年 8 月至 2021 年 12 月在复旦大学附属华山医院静安分院介入科接受 Tubridge 治疗的 23 例颅内未破裂中小型($\leq 10\text{mm}$)动脉瘤患者的临床资料, 共计 31 个动脉瘤; 术后采用改良 Rankin 量表(mRS)评分评估患者临床预后(0~2 分为预后良好, 3~5 分为预后不良), 术后采用 Raymond 分级评估动脉瘤栓塞情况。**结果** 支架置入成功率 100%。末次平均随访时间 6.6 个月, 17 例患者行数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)造影随访, 其中 Raymond I 级 19 个, Raymond II 级 1 个, Raymond III 级 5 个, 末次造影随访动脉瘤完全栓塞率 76%; 术后发生 1 例出血并发症(4.4%), 2 例缺血并发症(8.7%), 4 例无症状性支架内膜增生伴轻度狭窄, 症状性并发症发生率 8.7%。全部患者获得临床随访结果, mRS ≤ 2 分 22 例, mRS > 2 分 1 例。**结论** 国产 Tubridge 治疗颅内中小型动脉瘤具有良好的效果, 但是术后出血或缺血性并发症不容忽视。

【关键词】 颅内动脉瘤; 血流导向装置; Tubridge; 预后; 术后并发症

中图分类号: R651.12 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2023)-05-0421-06

Domestic Tubridge flow diverter for the treatment of small and medium-sized intracranial aneurysms: analysis of its short-term efficacy and safety XU Ligang, WAN Jun, ZHANG Lei, WANG Zhenyu, ZHANG Wenjia, CHEN Qing. Department of Interventional Radiology, Jing'an Branch of Affiliated Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 200040, China

Corresponding author: WAN Jun, E-mail: anniy2000@vip.163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the short-term efficacy and clinical safety of domestic Tubridge flow diverter(FD) in the treatment of small and medium-sized intracranial aneurysms. **Methods** The clinical data of 23 patients with small or medium-sized ($\leq 10\text{ mm}$) unruptured intracranial aneurysm (31 aneurysms in total), who received Tubridge FD at the Jing'an Branch of the Affiliated Huashan Hospital of Fudan University of China between August 2020 and December 2021, were retrospectively analyzed. After the treatment, modified Rankin Scale(mRS) score was used to evaluate patient's clinical outcomes(0-2 points indicating a good prognosis, and 3-5 points indicating a poor prognosis), and Raymond grade was used to assess aneurysm embolization degree. **Results** Successful stent implantation was achieved in all patients, with a success rate of 100%. The average follow-up time was 6.6 months. Seventeen patients were followed up by digital subtraction angiography (DSA), which showed that Raymond grade I was obtained in 19 aneurysms, Raymond grade II in one aneurysm, and Raymond grade III in 5 aneurysms. The last follow-up angiography showed that the complete embolization rate of the aneurysms was 76%. After the treatment, one patient had bleeding complication (4.4%), two patients developed ischemic complications(8.7%), and four patients had asymptomatic stent intimal hyperplasia with mild stenosis; the incidence of symptomatic complications was 8.7%. Clinical follow-up results were obtained in all patients, which showed that mRS ≤ 2 points was seen in 22 patients and mRS > 2 points was seen in one patient. **Conclusion** For the treatment of intracranial small and medium-sized aneurysms, domestic Tubridge FD has good results. However, postoperative bleeding and ischemic complications should not be ignored. (J Intervent Radiol, 2023, 32: 421-426)

【Key words】 intracranial aneurysm; flow diverter; Tubridge; prognosis; postoperative complication

DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2023.05.002

作者单位: 200040 上海 复旦大学附属华山医院静安分院介入科

通信作者: 万 军 E-mail: anniy2000@vip.163.com

血流导向装置(flow diverter, FD)自 2008 年首次报道以来,经过十多年的临床经验的积累,已然成为治疗颅内动脉瘤的重要手段^[1],其中国内最常用 FD 主要包含国外 Pipeline 系列和国产 Tubridge 支架^[2]。相较于其他血管内介入治疗方法,FD 有助于动脉瘤的闭塞和瘤颈的重塑。起初,PFUS 和 PARAT^[3-4]两项多中心随机对照试验显示两种国内常用支架适应于颈内大型或巨大型宽颈动脉瘤,位置也有所限制。然而,大型或巨大型动脉瘤在全部颅内动脉瘤仅占少部分,中小型动脉瘤占比可达 80%;同时,大多数破裂动脉瘤也是 ≤ 10 mm 的^[5-6]。近期研究^[7-10]表明 PED 治疗颅内中小型动脉瘤安全有效。2018 年,基于前瞻性、多中心、单臂的 PREMIER 临床研究^[11],Pipeline Flex 获得美国食品药品监督管理局(food and drug administration, FDA)批准,其适应证成功扩展至颈内中小型宽颈动脉瘤。但是,相关研究主要局限于 Pipeline 系列支架,关于国产 Tubridge 血管重建装置治疗颅内中小型动脉瘤的报道匮乏。因此本研究回顾分析了本院 23 例接受 Tubridge 治疗的 ≤ 10 mm 颅内动脉瘤患者的临床资料,现总结如下。

1 材料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2020 年 8 月至 2021 年 12 月在复旦大学附属华山医院静安分院介入科接受 Tubridge (上海微创公司)治疗的 23 例颅内未破裂中小型(≤ 10 mm)宽颈(瘤颈 > 4 mm 或颈体比 $\geq 1/2$)动脉瘤患者的临床资料;年龄(60 ± 7)岁,41~73 岁;男性 10 例,女性 13 例;伴发高血压 14 例,糖尿病 4 例,脑动脉狭窄 5 例;吸烟者 7 例。16 例因头痛或头晕发现,3 例因体检偶然发现,3 例因脑梗死发病发现,1 例因高血压性脑出血发现。全部患者或家属知情同意并签署知情同意书。

1.2 影像资料

全部 23 例患者共计 31 个动脉瘤。其中,14 个位于颈内动脉 C6 段,8 个位于颈内动脉 C7 段,4 个位于颈内动脉 C4 段,2 个位于颈内动脉 C1 段,3 个位于椎动脉 V4 段;直径约(5.3 ± 2.74) mm,1~10 mm;16 例单发动脉瘤,7 例多发串联动脉瘤,6 例有 2 个动脉瘤,1 例有 3 个动脉瘤。

1.3 围手术期抗凝策略

介入术前常规口服双抗血小板(阿司匹林 100 mg+氯吡格雷 75 mg)药物 3~5 d,术中给予全身肝素化

(1 mL/15 kg),术后给予盐酸替罗非班(规格 12.5 mg/50 mL)1.5 mL/h(375 μ g/h)微泵维持 48 h,后衔接口服双抗血小板药物 3 个月(衔接双抗时重叠 6 h),继而改为口服阿司匹林 1 年。根据患者 DSA 造影随访结果及出血风险个体化调整用药^[12]。

1.4 手术操作

全部患者入院后在局麻下行 DSA 造影,以评估动脉瘤的位置、大小、数量、形态及载瘤动脉直径、与毗邻血管关系等情况,从而确定治疗方案。随即在全麻下实施治疗,首先将导引导管(8 F NeuronMAX)在中间导管(MPA)及导丝引导下超选择至载瘤动脉,随后支架微导管在微导丝引导下置入载瘤动脉远端,塑形栓塞微导管(Echelon 10)在微导丝引导下超选择至动脉瘤腔内,在透视下将 Tubridge 支架输送至支架导管头端,定位准确后,缓慢回撤支架导管,联合推送支架技术使支架充分打开,如遇打开不充分、贴壁不良的情况采用微导丝微导管按摩或球囊辅助支架打开贴壁。如有以下情况可通过塑形微导管辅助填塞弹簧圈:动脉瘤形态不规则、动脉瘤尺寸较大、动脉瘤伴发子囊、动脉瘤内可见射流等。

1.5 随访和疗效评估

随访采用住院 DSA 造影随访和电话随访。术后采用改良 Rankin 量表(mRS)评分评估患者预后(mRS 评分 0~2 分为预后良好,mRS 评分 3~5 分为预后不良)^[13];术后即可及时随访,随访期间采用 Raymond 分级评估脑血管造影结果^[14]。

2 结果

2.1 手术结果

全部患者共计置入 23 枚 Tubridge 支架,支架置入成功率为 100%(23/23)。12 个动脉瘤采用单纯 Tubridge 支架置入术,其余 19 个(61.3%)动脉瘤采用 Tubridge 支架置入联合弹簧圈栓塞。全部支架释放后打开和贴壁良好,均常规给予导管导丝按摩。

2.2 并发症及随访结果

2.2.1 手术操作相关并发症 3 例:1 例为术中血管痉挛伴瘤颈处血栓形成,立即经导管动脉灌注替罗非班 500 μ g 溶栓、法舒地尔 5 mg 解痉对症处理,5 min 后透视下观察到血栓溶解、动脉痉挛消除,mRS 0 分。1 例术后 5 月随访,在 DSA 造影下支架局部见“夹层样改变”,mRS 0 分。另 1 例术后 8 个月随访,在 DSA 造影下可见原动脉瘤栓塞致密,对侧壁新发囊状造影剂填充影,mRS 0 分。

2.2.2 出血并发症 1 例: 患者术后 8 d 头颅 MR 提示右侧额顶叶皮层下少量出血灶, 调整为阿司匹林 100 mg, 每晚 1 次单抗血小板+阿托伐他汀 20 mg, 每晚 1 次降脂治疗, 患者无明显症状予以出院, 但是术后第 26 天当地医院诊断右侧大面积脑梗死, mRS 4 分(图 1)。

2.2.3 缺血性并发症 2 例 (8.7%): 1 例是支架移位伴支架内反复血栓形成导致大脑中动脉闭塞, 经积极对症治疗后血管再通, 术后 8 个月随访 mRS 2 分(图 2)。另 1 例与出血并发症为同一人。

2.2.4 支架内膜增生伴轻度狭窄(均 $<30\%$) 4 例患者予以强化降脂治疗(阿托伐他汀钙片 20 mg, 每晚 1 次加倍或加用依折麦布 10 mg, 每天 1 次), 其中 2 例有所改善(图 3), 1 例未再进展, 1 例待进一步随访, 4 例均无症状出现。综上所述, 症状性并发症共 2 例(8.7%)。

2.2.5 随访结果 17 例患者共 25 个动脉瘤接受了住院 DSA 造影随访, 10 例患者共 14 个动脉瘤是首次随访, 7 例患者 11 个动脉瘤是二次随访, 随访时间跨度 3~17 个月, 首次 DSA 造影随访平均时间为 4.1 个月, 末次 DSA 造影随访平均时间为 6.6 个月; 其中, 在 4.1 个月 DSA 造影随访疗效评估中, Raymond I 级 17 个, Raymond II 级 2 个, Raymond III 级 6 个, 动脉瘤完全栓塞率 68%; 在 6.6 个月随访中, Raymond I 级 19 个, Raymond II 级 1 个, Raymond III 级 5 个, 动脉瘤完全栓塞率达到了 76%; 其中 FD 置入组(7/11)和 FD 联合弹簧圈栓塞组完全栓塞率分别为 63.6%、85.7%。在二次随访的 7 例患者中, 有 5 个动脉瘤首次随访有造影剂残留, Raymond II 级 1 个, Raymond III 级 4 个; 在二次随访中, 有 2 个动脉瘤完全栓塞, 1 个缩小且滞留明显, 2 个与前相仿, 改善率 60%。剩余 6 例患者则采用电话随访, 末次随访 mRS ≤ 2 分

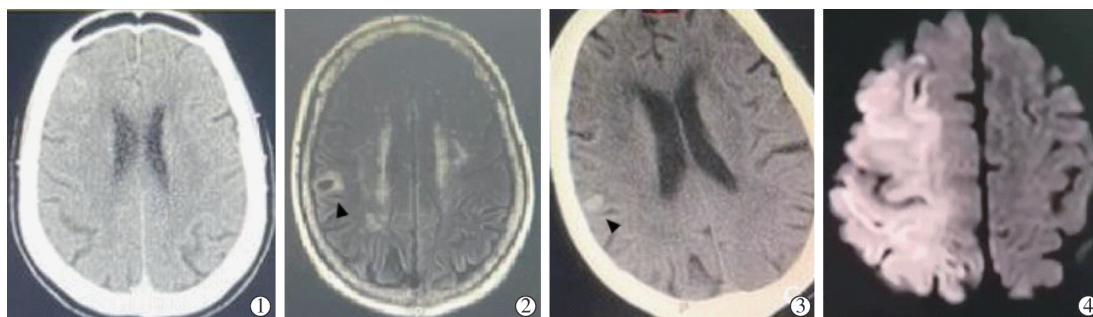
有 22 例患者, mRS >2 分有 1 例患者。

3 讨论

目前 FD 已成为颅内动脉瘤的常用血管内介入方法, 拥有高治愈率、可接受低并发症率、操作简单等优势。但是, 关于国产 Tubridge 支架的研究仍较缺乏, 尤其是中小型动脉瘤。因此, 本研究旨在评价国产 Tubridge 在治疗中小型颅内动脉瘤的短期有效性和安全性。

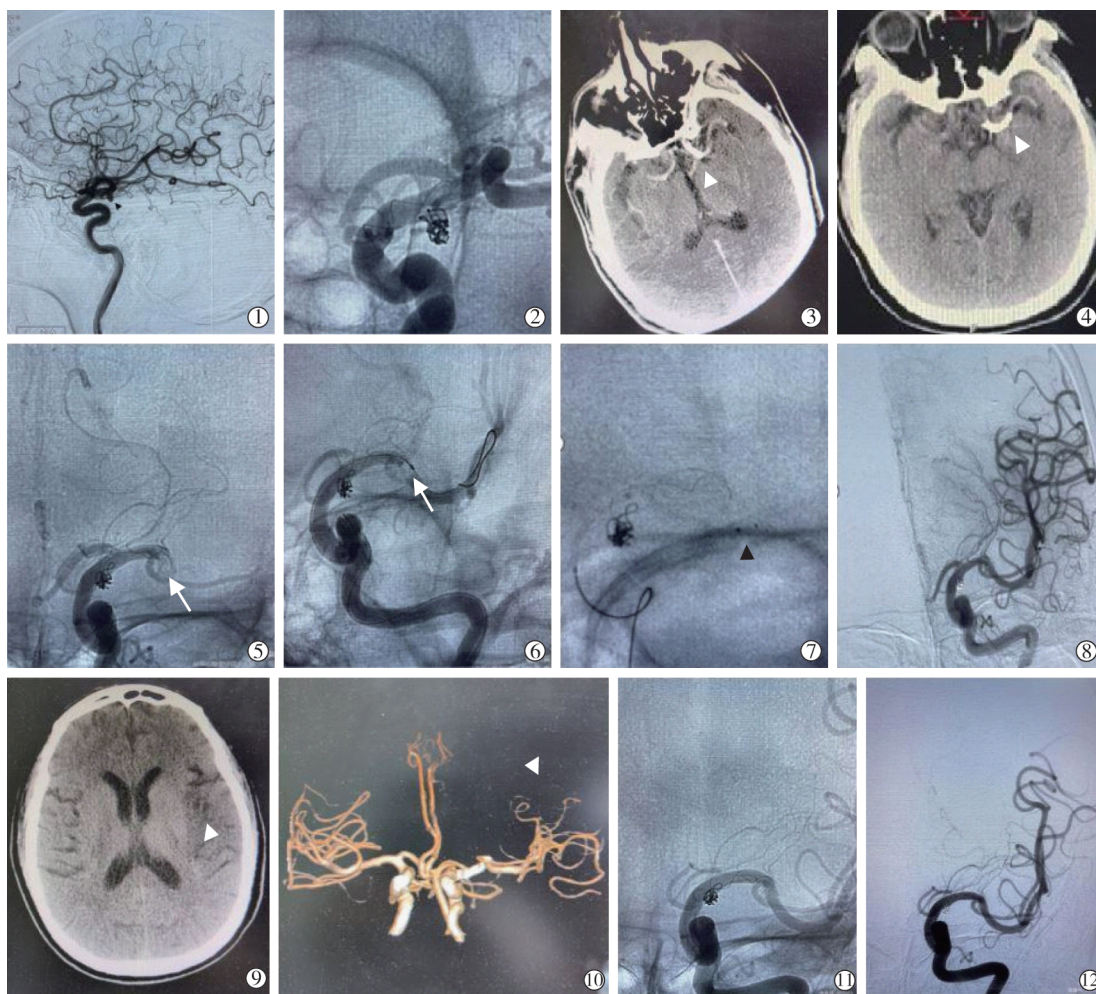
本研究共计纳入 31 个颅内未破裂 ≤ 10 mm 宽颈动脉瘤, 均成功置入 Tubridge 支架, 技术成功率达到 100%。其手术操作相关并发症 3 例: 1 例在 5 个月随访时支架近心段局部可见夹层形成, 研读术后即刻影像, 支架贴壁良好, 夹层形成原因可能由于术者在支架释放时动作不够轻柔所致, 或术中微导丝微导管按摩操作时损伤支架近心段血管内膜。另 1 例载瘤动脉痉挛伴瘤颈处血栓形成, 经抗血小板、解痉药物成功溶解血栓并解除血管痉挛, 可能是导管、导丝或支架刺激血管痉挛导致血流缓慢淤滞, 从而形成血栓。根据术者经验, Tubridge 置入前可用法舒地尔预防血管痉挛, 置入时务必动作轻柔以防血管内膜损伤, 微导管微导丝通过支架时缓慢、动作轻柔, 防止支架移位或损伤血管内膜。如遇血管痉挛, 可经动脉导管灌注盐酸法舒地尔 5 mg, 一般观察 5~10 min 即可解除痉挛; 如遇血栓形成, 可经动脉导管灌注盐酸替罗非班 500 μ g, 一般观察 10~15 min 即可溶解血栓, 如血栓未溶解, 可辅以球囊或支架干预。第 3 例原动脉瘤完全栓塞, 其对侧壁新发夹层动脉瘤, 术者推测可能 FD 置入后血流动力学改变所致, 或本身血管节段性异常, 或术者暴力操作所致。

众所周知, FD 治疗动脉瘤的愈合率与时间呈



①术后即刻头颅 CT 未见明显异常改变;②③术后 1 周头颅 MR、CT 提示右侧额顶叶皮下少许出血灶, 改为阿司匹林 100 mg, 每晚 1 次单抗血小板治疗;④术后 25 d 在家突发左侧肢体无力, 查头颅 DWI 提示右侧大面积脑梗死, 最终偏瘫, 末次随访 mRS 4 分

图 1 Tubridge+弹簧圈栓塞治疗右侧颈内动脉瘤术后出现同侧远端脑实质出血(IPH)及缺血性并发症病例



①头颅 DSA 示颈内动脉交通段动脉瘤(黑色箭头);②Tubridge+弹簧圈栓塞术后,支架贴壁佳,血流通畅,动脉瘤疏松填塞;③术后当晚衔接口服抗血小板药物 4 h 后,突发右侧肢体偏瘫伴混合型失语,头颅 CT 排除脑出血,且提示左侧颈内动脉后交通段可见支架影(白色箭头),予紧急抗凝、抗血小板处理后基本恢复;④术后第 1 天晚再次衔接口服抗血小板药物 5 h 后再发缺血事件,头颅 CT 排除脑出血,同时提示支架移位(白色箭头),紧急抗凝、抗血小板后症状改善不明显,予紧急血管内干预;⑤急诊头颅 DSA 示支架明显移位,左侧 M2 段以远不显影;⑥⑦反复机械碎栓效果不理想,随后尝试 1.5~9 mm Gateway 球囊局部扩张推拉血栓失败,最终采用 4~20 mm S-AB 支架(黑色箭头)取栓成功;⑧M1/2 分叉部血栓消失,M3 段远端血管闭塞,其远端可见动脉晚期软膜吻合代偿;⑨取栓术后 10 d 头颅 CT 示少许梗死灶;⑩取栓术后 20 d 头颅 CTA 示支架通畅,大脑中动脉 M3 以远闭塞;⑪⑫8 个月随访 DSA 造影示支架内血流通畅,动脉瘤栓塞致密,末次随访 mRS 2 分

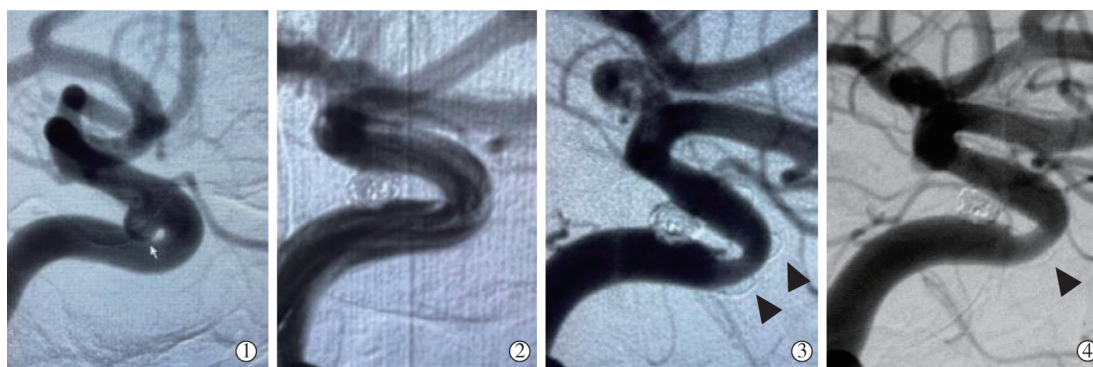
图 2 Tubridge+弹簧圈栓塞治疗左侧颈内动脉瘤术后支架移位伴血栓形成病例

一定的正相关性。PEDESTRIAN^[15]是一项关于 PED 治疗 1 000 例颅内动脉瘤患者的大型队列研究,其中 64.6%是 ≤ 10 mm 动脉瘤,其研究结果显示动脉瘤完全栓塞率逐年上升,1、2~4、5 年完全栓塞率分别为 75.8%、92.9%、96.4%。相似的,具有代表性的 PREMIER 研究^[16]显示 ≤ 7 mm 颅内动脉瘤 1 年完全栓塞率为 75.8%,3 年可达 83.3%。本研究平均 4.1 个月动脉瘤完全栓塞率为 68%,而平均 6.6 个月达到了 76%,与之前国内外研究结果相仿^[10, 11, 15]。同时,在未完全栓塞动脉瘤二次随访中,有 60%明显改善或完全栓塞。本研究结果不仅证实 Tubridge 短期疗

效确切,而且动脉瘤治愈率随着时间的延长也有增高,当然其长期预后仍需进一步随访方能明确。

既往研究表明^[17-18],与单纯 FD 置入相比,FD 联合弹簧圈栓塞有更高的动脉瘤治愈率,中短期完全栓塞率可达 72%~94.4%,同时显著降低再治疗率。与之前研究结果相仿,本研究 FD 联合弹簧圈栓塞组动脉瘤治愈率为 85.7%,明显优于单纯支架置入组的 63.6%。

本研究未出现动脉瘤破裂病例,有 1 例(4.4%)发生同侧远端脑实质出血(IPH),与国外的研究相仿^[3, 19]。截止目前,关于 FD 治疗动脉瘤后同侧远端脑



①头颅 DSA 示颈内动脉眼动脉段动脉瘤(白色箭头);②Tubridge+弹簧圈栓塞术后,支架贴壁佳,血流通畅,动脉瘤栓塞致密;③3 个月 DSA 造影随访,可见支架内膜增生(黑色箭头),予以阿托伐他汀钙片 40 mg,每晚 1 次强化降脂;④8 个月 DSA 造影随访,支架内膜增生较前改善,继续强化降脂用药 1 年后随访复查

图 3 Tubridge+弹簧圈栓塞治疗颅内动脉瘤出现支架内膜增生伴狭窄(<50%)病例

实质出血的发病机制尚无定论。有研究提出 IPH 可能的发病机制^[20-21]:微梗死灶出血转化、FD 置入后血压远端传输的变化(血流动力学改变)、双抗血小板药物应用。该病例 FD 术后常规替罗非班 12.5 mg/50 mL, 2 mL/h, 48 h 微泵维持(500 μ g/h);48 h 后衔接阿司匹林 100 mg, 每天 1 次+氯吡格雷 75 mg, 每天 1 次(重叠 6 h),术后第 8 天头颅 MR 提示右侧额叶少许梗死后出血灶,立即调整为阿司匹林 100 mg, 每天 1 次,无明显症状予以出院;出院后第 18 天突发肢体无力,急查头颅 MR 提示右侧大面积脑梗死,最终左侧偏瘫。首先头颅 MR 明确提示出血位于梗死区域,双抗血小板药物调整以后进一步发展成脑梗死。术者推测术后 IPH 是微梗死后出血转化与双抗血小板药物协同作用,而后续的脑梗死与抗血小板药物不足有关。因此,术后少量 IPH 是否需要更改抗血小板方案或如何减量以防脑梗死发生需要进一步研究。

近期的研究表明,颅内中小型动脉瘤 FD 术后缺血性并发症发生率 1.4%~8.7%^[3, 8, 11]。而本研究术后缺血性并发症发生率偏高约为 8.7%(2 例),这可能与本研究样本量较小相关。1 例之前已有详细描述。另 1 例是支架移位导致反复大脑中动脉血栓形成进而闭塞,曾行药物溶栓、机械碎栓、球囊扩张、支架取栓及释放等治疗,最终大脑中动脉再通,末次随访 mRs 2 分。关于此病例,有几点经验分享。(1)支架移位可能的原因总结如下:①支架尺寸偏小,同时操作时伴发血管痉挛,导致支架贴壁良好的假象,待血管解除痉挛后,支架则被血流冲向载瘤动脉远端;②微导丝反复按摩、推压支架的操作使得支架压缩,积聚弹性势能,因为支架偏软,进而导致移位。(2)如遇支架内急性血栓形成,确保患者

手术操作过程中全身肝素化极其重要,紧急经导管动脉灌注盐酸替罗非班(参照冠脉支架的首剂灌注法的使用标准,10 μ g/kg 在 3~5 min 之内注射完成,本中心采用该标准的 50%,团注法给予)^[22-23],观察 10~15 min 即可溶解血栓;如造影支架内血栓未改善,则可立即导管内微导丝机械碎栓取栓;如遇顽固性血栓,可采用支架碎栓取栓。于支架内采用支架取栓是极危险的,一旦卡住是灾难性的,技术要点如下:①取栓支架应边推边收,不让支架远端完全打开,避免卡住;②一旦卡住先尝试将移位支架拉出,不然就释放取栓支架固定挤压血栓;③对于血栓形成高危患者(术中支架移位或贴壁不好),静脉抗血小板药物需与口服抗血小板药物重叠 12 h 应用,并且静脉抗血小板药物逐渐减量;当然术前血栓弹力图试验是极其必要的,可以及时选出有效的抗血小板药物从而避免血栓的形成。

文献报道^[19, 24],FD 支架内膜增生伴不同程度狭窄发生率约 3.5%~15.8%,大多数无明显临床症状,多发生于术后 6 个月内。与之前报道相仿,本研究发现支架内膜增生病例 4 例,均为轻度狭窄(狭窄程度<30%)且无明显临床症状,均发生于术后早期阶段,其中 2 例通过强化降脂得以改善,剩余 2 例有待进一步随访,1 例患者术后长期吸烟。2020 年发表了一项关于 FD 治疗中国人群颅内动脉瘤的多中心大队列回顾性研究^[25],研究结果显示,支架内狭窄与吸烟、脑动脉粥样硬化/狭窄有关。总之,Tubridge 支架内膜增生是一种常见且良性的并发症,一般通过强化降脂药物可加以改善,同时应予以严格戒烟。

综上所述,Tubridge 治疗颅内中小型动脉瘤具有良好的效果,但是术后出血或缺血性并发症不容

忽视,其远期疗效和安全性仍需前瞻性大样本研究进一步证实。

参考文献

- [1] Fiorella D, Woo HH, Albuquerque FC, et al. Definitive reconstruction of circumferential, fusiform intracranial aneurysms with the pipeline embolization device[J]. *Neurosurgery*, 2008, 62: 1115-1120.
- [2] 蒋春雨, 王建波. 血流导向装置在颅内动脉瘤介入治疗中的应用[J]. *介入放射学杂志*, 2014, 23: 267-271.
- [3] Becske T, Kallmes DF, Saatci I, et al. Pipeline for uncoilable or failed aneurysms: results from a multicenter clinical trial [J]. *Radiology*, 2013, 267: 858-868.
- [4] Liu JM, 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] Wiebers DO, Whisnant JP, Huston J 3rd, et al. Unruptured intracranial aneurysms: natural history, clinical outcome, and risks of surgical and endovascular treatment[J]. *Lancet*, 2003, 362: 103-110.
- [6] International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms Investigators. Unruptured intracranial aneurysms: risk of rupture and risks of surgical intervention[J]. *N Engl J Med*, 1998, 339: 1725-1733.
- [7] Chalouhi N, Zanaty M, Whiting A, et al. Safety and efficacy of the pipeline embolization device in 100 small intracranial aneurysms [J]. *J Neurosurg*, 2015, 122: 1498-1502.
- [8] Griessenauer CJ, Ogilvy CS, Foreman PM, et al. Pipeline embolization device for small intracranial aneurysms: evaluation of safety and efficacy in a multicenter cohort[J]. *Neurosurgery*, 2017, 80: 579-587.
- [9] 李立, 李天晓, 邵秋季, 等. 血流导向装置治疗小型未破裂颅内动脉瘤的短期疗效[J]. *中华神经外科杂志*, 2019, 35: 1099-1102.
- [10] Fiorella D, Gache L, Frame D, et al. How safe and effective are flow diverters for the treatment of unruptured small/medium intracranial aneurysms of the internal carotid artery? Meta-analysis for evidence-based performance goals[J]. *J Neurointerv Surg*, 2020, 12: 869-873.
- [11] Hanel RA, Kallmes DF, Lopes DK, et al. Prospective study on embolization of intracranial aneurysms with the pipeline device: the PREMIER study 1 year results[J]. *J Neurointerv Surg*, 2020, 12: 62-66.
- [12] Zhao WL, Peng HZ, Zhang HM, et al. Nursing care of 22 patients with complex intracranial aneurysms treated with flow-diverting stents: a retrospective study[J]. *J Interv Med*, 2019, 2: 128-130.
- [13] Banks JL, Marotta CA. Outcomes validity and reliability of the modified Rankin scale: implications for stroke clinical trials: a literature review and synthesis[J]. *Stroke*, 2007, 38: 1091-1096.
- [14] Roy D, Milot G, Raymond J. Endovascular treatment of unruptured aneurysms[J]. *Stroke*, 2001, 32: 1998-2004.
- [15] Lylyk I, Scrivano E, Lundquist J, et al. Pipeline embolization devices for the treatment of intracranial aneurysms, single-center registry: long-term angiographic and clinical outcomes from 1000 aneurysms[J]. *Neurosurgery*, 2021, 89: 443-449.
- [16] Hanel RA, Cortez GM, Lopes DK, et al. Prospective study on embolization of intracranial aneurysms with the pipeline device (PREMIER study): 3-year results with the application of a flow diverter specific occlusion classification[J]. *J Neurointerv Surg*, 2023, 15: 248-254.
- [17] Zhang Q, Shao Q, Chang K, et al. Safety and efficacy of coils in conjunction with the pipeline flex embolization device for the treatment of cerebral aneurysms[J]. *Front Neurol*, 2021, 12: 651465.
- [18] Zhang M, Tian Z, Zhang Y, et al. How to perform intra-aneurysmal coil embolization after pipeline deployment: a study from a hemodynamic viewpoint[J]. *J Neurointerv Surg*, 2023, 15: 157-162.
- [19] Gory B, Berge J, Bonafe A, et al. Flow diverters for intracranial aneurysms: the DIVERSION national prospective cohort study [J]. *Stroke*, 2019, 50: 3471-3480.
- [20] Brinjikji W, Murad MH, Lanzino G, et al. Endovascular treatment of intracranial aneurysms with flow diverters: a meta-analysis [J]. *Stroke*, 2013, 44: 442-447.
- [21] Cruz JP, Chow M, O'Kelly C, et al. Delayed ipsilateral parenchymal hemorrhage following flow diversion for the treatment of anterior circulation aneurysms[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2012, 33: 603-608.
- [22] McClellan KJ, Goa KL. Tirofiban. A review of its use in acute coronary syndromes[J]. *Drugs*, 1998, 56: 1067-1080.
- [23] Zhou B, He Y, Cheng J, et al. Treatment of the acute thromboembolic event during endovascular embolization of intracranial aneurysm [J]. *J Interv Med*, 2020, 3: 208-212.
- [24] Chalouhi N, Polifka A, Daou B, et al. In-pipeline stenosis: incidence, predictors, and clinical outcomes[J]. *Neurosurgery*, 2015, 77: 875-879.
- [25] Luo B, Kang H, Zhang H, et al. Pipeline embolization device for intracranial aneurysms in a large Chinese cohort: factors related to aneurysm occlusion[J]. *Ther Adv Neurol Disord*, 2020, 13: 1756286420967828.

(收稿日期: 2022-09-22)

(本文编辑: 茹实)