

瘤内扰流装置 Woven EndoBridge 治疗 颅内动脉瘤进展

江敏¹, 刘飞², 王晓健², 罗靖², 胡阳春², 包明月², 程宏伟², 蔡强²

1. 安徽医科大学第一附属医院(北区)神经外科, 安徽 合肥, 230022; 2. 安徽医科大学第一附属医院神经外科, 安徽 合肥, 230022

通信作者: 刘飞, E-mail: 872719842@qq.com

【摘要】 颅内分叉部宽颈动脉瘤是颅内动脉瘤治疗的难题, 往往也是血管内介入治疗的挑战。传统介入治疗以支架结合弹簧圈为主, 但操作复杂、缺血并发症及术后复发风险高。瘤内扰流装置 Woven EndoBridge (WEB) 的出现, 逐步显现出其相较于传统介入治疗的优点。随着对 WEB 的不断研究, WEB 已不局限于应用于分叉部动脉瘤, 其应用范围也被逐步拓展。本文就 WEB 装置及其临床应用范围, WEB 置入操作过程、型号选择及围手术期抗血小板方案, 术后随访及栓塞效果评估, WEB 临床应用效果、并发症发生与处理, WEB 超适应症的临床应用情况等进展进行综述。

【关键词】 瘤内扰流装置; WEB; 介入治疗; 颅内动脉瘤; 超适应症

【文章编号】 2095-834X (2025)06-69-07

DOI: 10.26939/j.cnki.CN11-9353/R.2025.06.007

本文著录格式: 江敏, 刘飞, 王晓健, 等. 瘤内扰流装置 Woven EndoBridge 治疗颅内动脉瘤进展[J]. 当代介入医学电子杂志, 2025, 2(6): 69-75.

Progress in the treatment of intracranial aneurysms with intratumoral flow disturbance devices—The Woven EndoBridge

Jiang Min¹, Liu Fei², Wang Xiaojian², Luo Jing², Hu Yangchun², Bao Mingyue², Cheng Hongwei², Cai Qiang²

1. Department of Neurosurgery, the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, Anhui, China;

2. Department of Neurosurgery, the first Affiliated Hospital of Anhui Medical University North District, Hefei 230022, Anhui, China

Corresponding author: Liu Fei, E-mail: 872719842@qq.com

【Abstract】 Intracranial bifurcation wide-necked aneurysms are a difficult problem in the treatment of intracranial aneurysms and are often a challenge in endovascular interventional treatment. Traditional interventional treatment mainly uses stents combined with spring coils, but the operation is complex, and the risk for ischemic complications and post-operation recurrence is high. With the emergence of the intrasaccular flow disruption device Woven EndoBridge (WEB), its advantages over traditional interventional treatments have gradually manifested. With continuous research on WEB, WEB is no longer limited to bifurcation aneurysms, and its application scope has also been gradually expanded. This article discusses the WEB device and its clinical application scope, WEB device implantation procedure, device size selection and perioperative antiplatelet regimen, postoperative follow-up and embolization effect evaluation methods, clinical outcomes of WEB treatment, complications occurrence and treatment, and off-label use of WEB. The current status and advances in these areas are reviewed.

【Keywords】 Intrasaccular flow disruption device; WEB; Interventional treatment; Intracranial aneurysm; Off-label

根据国际未破裂颅内动脉瘤研究(international study of unruptured intracranial aneurysms, ISUIA), 大多数颅内动脉瘤是分叉部动脉瘤^[1]。作为其典型代表, 颅内分叉部宽颈动脉瘤(wide-necked bifurcation aneurysms, WNBAs)常因瘤颈宽大且累及较大分支血管的特殊解剖结构, 是脑血管疾病治疗的难点^[1-4]。以往颅内分叉部宽颈动脉瘤可行开颅颅内动脉瘤夹闭术治疗, 但其创伤较大, 且以基底动脉顶端宽颈动脉瘤为代表的颅内分叉部宽颈动脉瘤, 其位置较深, 开颅治疗难度大、风险高, 随着介入材料及技术的进步, 血管内介入治疗成为其主要的治疗方式^[2-4]。传统以支架辅助弹簧圈栓塞(stent-assisted coiling, SAC)、Y型支架置入等技术来解决保护分支血管的问题, 但操作复杂、血栓性并发症及术后复发风险高, 这些问题成为治疗WNBAs的挑战。随着血管内治疗技术及材料的发展进步, 瘤内扰流装置Woven EndoBridge (WEB)自膨式动脉瘤瘤内栓塞系统应运而生, 该系统简称WEB装置, 其在动脉瘤囊内进行栓塞治疗, 而不在载瘤动脉中留置介入材料, 通过干扰瘤内血流并促成瘤内血栓形成而治愈动脉瘤, 成为一种全新的瘤内治疗理念^[1-2]。WEB最早在国外应用, 诸多临床研究证实了其安全性和有效性, 近年在国内部分中心也逐步开展应用^[2,4-7]。随着WEB材料的更新、应用技术的进步及使用经验的积累, 临床应用指征逐步被拓展, 目前, WEB已不局限于分叉部动脉瘤的治疗, 超适应症的研究纷纷涌现^[8-11]。因此, 总结回顾近年来临床应用WEB治疗颅内动脉瘤的相关文献研究, 综述其在临床应用方面的进展。

1 WEB装置介绍及临床应用范围

WEB装置是由镍钛合金-铂金丝编织的自膨式笼状密网结构, 早期为双层笼状结构, 后期改进为单层笼状结构, 透视下通体高度可视, 具有多种型号尺寸, 适配性好, 尺寸范围从4 mm×3 mm至11 mm×9 mm。专用的VIA微导管释放WEB装置, 并由WEB分离控制盒通过电热解脱系统将其与推送杆分离, 解脱前可多次回收并重新释放^[2,12-15]。WEB呈两端凹陷的笼状结构, 分为:SL系列(Single Layer, SL), 呈圆柱形笼状结构;SLS系列(Single Layer Sphere, SLS), 略呈球形笼状结构。其近端和远端凹陷区域的金属覆盖密度最高, 接近中心区域的金属覆盖率近100%, 平均金属覆盖率约为60%~65%, 是发挥扰流作用的关键因素, 其通过干扰进出动脉瘤囊的血流, 诱发瘤内血栓形成, 从而达到闭塞动脉瘤的目的^[12-15]。

WEB于2011年获得欧盟安全认证(CE Mark)后应用于临床, 2018年经美国食品药品监督管理局(Food

and Drug Administration, FDA)批准WEB上市^[2-3]。FDA批准WEB适用于在大脑中动脉分叉部、颈内动脉末端、前交通动脉复合体或基底动脉顶端动脉瘤使用, 对动脉瘤直径为3 mm~10 mm, 且瘤颈宽度 ≥ 4 mm或瘤颈比(瘤体宽度/瘤颈宽度) >1 且 <2 也适用^[2-3,15]。

VIA输送导管经改进后管径逐渐变细, 内径由最初的0.027英寸(VIA27)、0.033英寸(VIA33), 改进为0.021英寸(VIA21), 再到新一代的0.017英寸(VIA17), 改进后的输送导管(特别是VIA17)更加柔软, 可应用于迂曲血管^[2-3]。VIA21、VIA17分别用来输送宽度4~7 mm、3~7 mm的WEB装置, WEB装置的金屬覆盖率分别为59%~62%、57%~59%, 最小可治疗直径约2.0~3.0 mm的动脉瘤^[2-3,14-15]。WEB除用于分叉部动脉瘤外, 还有用于其他部位动脉瘤的报道, 如后交通动脉瘤等位于颈内动脉侧壁动脉瘤及小脑上动脉瘤、小脑后下动脉瘤等^[15,9-11,16]。

2 WEB置入操作过程、型号选择及围手术期抗血小板方案

为了确保远端通路的稳定性, 置入WEB推荐使用标准的三轴系统: 长鞘(通常6F或8F)+中间导管(通常5F或6F)+VIA输送微导管。将WEB装置缓慢推出导入鞘, 并置于肝素化生理盐水中, 检查装置有无损坏。透视下VIA到位, 将WEB缓慢推出微导管头端(初始展开, 俗称“萌芽”), 将装置推送至动脉瘤囊内目标位置(进一步展开, 俗称“开花”), 直到其展开至最佳状态(完全释放), 造影确认WEB位置合适、造影剂在装置内滞留, 即可考虑解脱装置^[2]。

WEB位置不佳(如部分突入载瘤动脉或分支血管), WEB未解脱前可回收并重新调整再次释放WEB至合适位置, 或更换新的合适尺寸WEB重新放置, 也可在球囊辅助下重新释放^[2,12-14]。若WEB已解脱, WEB近端标记点或部分网丝轻微突入载瘤动脉, 可观察至少10 min, 若没有发生血流减慢或血栓形成, 可以结束手术; 若出现血流减慢或血栓形成征象, 或解脱后WEB主体明显疝出, 可应用支架辅助置入, 保护分支血管、改善受累血管的血流^[2,15]。因此, WEB解脱前的造影评估至关重要, 主要评估装置尺寸选择是否合适、侧壁贴合(或横向贴壁)情况及载瘤动脉血流通畅程度, 而选择合适的装置尺寸是保证装置侧壁贴合良好及载瘤动脉血流通畅的关键。

WEB装置尺寸的选择至关重要, 选择合适的尺寸是手术成功的关键^[2-3,15]。评估选择合适WEB需要考虑以下方面: 动脉大小、形态及瘤颈比, 分支血管的解剖形态, 动脉瘤通路和近端血管曲折程度, 微导管在瘤颈处的输送角度, 动脉瘤是否破裂等^[2]。WEB能够治

疗 3~10 mm 大小的动脉瘤,了解动脉瘤大小、形态及瘤颈比对选择 WEB 尤其重要,需要测量动脉瘤以下方面数据:两个正交位的平均瘤体宽度、两个正交位的瘤颈宽度及两个正交位的最小高度^[2-3,15]。

需要注意的是,WEB 装置良好的侧壁贴合(或横向贴壁性),会增加装置抗压性及稳定持久性,因此装置横向尺寸选择应大于最大瘤颈宽度,以保证良好的横向贴壁^[2-3,15]。WEB 尺寸的选择方法与弹簧圈栓塞等其他治疗方式不同,需要更详尽的术前规划。WEB 装置尺寸的选择会影响 WEB 的贴壁性,进而影响装置稳定性。尺寸选择不当,可能导致 WEB 解脱后移位或在后期随访中被压缩,进而引发血栓栓塞事件及动脉瘤闭塞不全^[2-3,15]。因此,选择的 WEB 宽度应比动脉瘤平均宽度大 1 mm,以确保装置在动脉瘤内良好的侧壁附着,所选 WEB 的高度比动脉瘤的平均高度低 1 mm,以补偿装置在水平压缩时产生的纵向伸长,即所谓的“+1/-1”法则,这一尺寸选择方法被广泛采用,同时,这一法则与基于大量实践经验和早期欧洲经验制定的尺寸参考表不谋而合^[2-3,15]。有研究通过软件计算 WEB-动脉瘤体积(ideal Woven EndoBridge-aneurysm volume, iWAVE)比率用以选择合适大小 WEB,为 WEB 尺寸选择提供新的参考方式^[17]。

评估分支血管形态主要需注意分支血管的对称性和角度,在分支血管不对称或成角锐利的解剖形态下,WEB 可能会疝出至载瘤动脉,影响正常血流^[2-3,15]。通过正位和侧位造影评估微导管在瘤颈处的输送角度,若输送角度相对平直,WEB 释放过程中微导管头端稳定性更好,而对于成角较大的病例,可考虑对 VIA 输送微导管进行蒸汽塑形^[2-3,15]。因为 WEB 的熟练使用需要一定时间的学习,建议在使用 WEB 治疗破裂动脉瘤病例前,先使用 WEB 装置治疗未破裂动脉瘤积累经验^[2-3,15]。有研究对比了 WEB 与传统支架辅助弹簧圈栓塞在辐射剂量、透视时间及造影剂用量方面的差异,结果显示 WEB 治疗有望减少辐射暴露和造影剂用量,且手术时间更短^[4]。

可见,WEB 置入成功的关键是型号选择。综上所述,WEB 装置尺寸选择的主要步骤包括:(1)在高质量的两个相互正交的造影位上精确测量动脉瘤瘤颈宽度、瘤体宽度和高度;(2)根据动脉瘤形态(主要是穹窿高度与宽度比)选择合适构型的 WEB(柱状 SL 或球状 SLS);(3)应用“+1/-1”法则等参考方法选择合适的 WEB 尺寸。WEB 的熟练使用需要学习曲线,建议新手先通过治疗未破裂动脉瘤降低风险、积累经验,逐步过渡到应用 WEB 治疗破裂动脉瘤,一旦操作熟练后,相对传统支架结合弹簧圈治疗,其操作流程相对简化。

关于 WEB 置入围手术期抗血小板治疗的必要性。一般认为,破裂动脉瘤患者:术前通常无需抗血

小板药物预处理;术后可酌情使用抗血小板药物,尤其是在 WEB 突入载瘤动脉的情况下^[2-3]。对于未破裂动脉瘤,预计术中可能需要支架辅助治疗时,需要使用抗血小板药物进行预处理,预计手术相对简单的未破裂动脉瘤:可予单一抗血小板药物(如阿司匹林 100 mg/d,至少 3~5 d)预处理;预计手术复杂或为大型宽颈动脉瘤:术前可予双联抗血小板药物(如阿司匹林 100 mg/d + 氯吡格雷 75 mg/d,至少 3~5 d)预处理;术后:若未放置支架且 WEB 无明显突入载瘤动脉,通常予以单一抗血小板药物(如阿司匹林 100 mg/d)治疗 5 至 6 周^[2-3,18-19]。总体而言,术后抗血小板治疗,若术中 WEB 装置放置理想(位置良好,无突入载瘤动脉),术后可不进行常规抗血小板治疗;若术中 WEB 网丝明显疝入载瘤动脉或应用了支架辅助,术后则需要接受一段时间的抗血小板药物治疗。因此,WEB 治疗的显著优势在于,通常无需进行术前和/或术中的系统性抗血小板治疗,这对于破裂动脉瘤的治疗尤为重要。

3 术后随访评估时间节点、方式及栓塞效果评估方法

WEB 置入后需定期进行影像学随访评估。一般认为,第一次影像学随访在 3~6 个月进行,然后在 12~18 个月进行第二次随访,进一步随访的时间是基于前两次的随访结果,多数研究的临床随访时间节点集中在:术后 30 d、3 个月、6 个月、1 年、之后通常每年随访一次,直至术后 5 年^[2,12-15,20-22]。

对于接受 WEB 治疗的动脉瘤患者,随访的金标准影像学检查是数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)^[2,15,18]。虽然 CTA 或 MRA 可作为 WEB 置入术后随访复查的筛查手段,但由于存在一定的假阳性和假阴性率,因此 DSA 仍是评估栓塞效果的标准检查^[2,14-15,18-19]。

目前广泛采用 WEB 闭塞量表(WEB Occlusion Scale, WOS)来评估 WEB 置入后的动脉瘤闭塞效果^[2,14]。WOS 是一种标准化的血管造影评估量表,该量表将闭塞效果分为四级:1 级:动脉瘤完全闭塞;2 级:完全闭塞伴瘤颈近端“标记物凹槽”处造影剂滞留;3 级:瘤颈残余;4 级:瘤囊残余^[2,14-15,23-24]。Rouchaud 等^[25]通过动物实验的组织病理学研究,比较了 WEB 治疗后血管造影评估(WOS)与组织学结果的对应关系,证实血管造影 WOS 分级在评估 WEB 治疗后动脉瘤闭塞方面具有较高的敏感性、特异性和准确性,而且 WOS 是一个重复性好且准确性高的评估工具。WOS 提供了一种相对标准化的方法来报告使用 WEB 治疗动脉瘤的血管造影闭塞情况,这种方法较为简单、能保持较高的阅片一致性。

由于 WEB 装置的独特设计,其近端表面内凹,在载瘤动脉与动脉瘤颈交界处形成一个凹陷区域,称为

“标记物凹槽”,旨在尽量减少装置在载瘤动脉内的突出,这种标记物凹窝内的造影剂显影可能被误认为是动脉瘤颈部的残留。若沿用评估弹簧圈栓塞后复发的 Raymond 分级标准来评判 WEB 的闭塞效果是不合适的,容易将 WOS 2 级(标记物凹槽处造影剂滞留)这种实际上已完全闭塞的情况,误判为瘤颈残留(相当于 Raymond 2 级)。实际上,标记物凹槽处是 WEB 网丝密集汇聚的部位,金属覆盖率高,组织学研究也表明该区域内皮化(新生内膜覆盖)通常较为完全,此处的造影剂滞留位于动脉瘤腔外、WEB 装置近端金属网丝与新生内膜之间,因此 WOS 2 级代表动脉瘤已达到完全闭塞^[2,14-15,25]。综合上述情况,基于 WOS,多数研究将 WEB 置入术后动脉瘤闭塞状态分为三类:①完全闭塞:包括 WOS 1 级和 2 级;②充分闭塞:包括完全闭塞(WOS 1 级和 2 级)及瘤颈残留(WOS 3 级);③瘤囊残余(IWOS 4 级):通常提示闭塞不全,往往需要再治疗^[2,14-15,25]。

因此,建议采用 DSA 进行 WEB 置入术后的定期影像学随访。采用 WOS,即 WEB 闭塞量表,进行栓塞效果评估。WOS 分为 4 级,完全闭塞包括 WOS-1 级及 2 级,充分闭塞包括完全闭塞及 WOS 3 级,而 WOS 4 级为动脉瘤残余,往往提示复发,可能需再治疗。WOS 作为评估 WEB 栓塞效果的量表类工具,其评估准确且阅片一致性好,被大多数研究广泛采用。

4 WEB 临床应用效果,并发症发生与处理

评估 WEB 安全性和有效性的关键多中心前瞻性研究包括美国的 WEB 瘤内治疗研究(WEB Intracranial Therapy, WEB-IT),以及欧洲的系列研究[包括法国观察性研究(French Observatory)、WEB 囊内动脉瘤治疗临床评估(WEB Clinical Assessment of Intracranial Aneurysm Therapy, WEBCAST)和 WEBCAST-2],这些研究结果均证实了 WEB 临床应用的安全性和良好的中长期疗效^[12-13,15,18,20,26-27]。

WEB-IT 研究^[12,15,26]共纳入 150 例患者,其中 148 例颅内分叉部宽颈动脉瘤患者成功置入 WEB 装置,1 年随访期内 143 例完成了 DSA 随访,其中合并蛛网膜下腔出血的破裂动脉瘤患者 9 例。12 个月研究期内无死亡病例,术后 30 d 至 1 年内未发生主要安全事件(主要包括死亡、出血性及缺血性脑卒中),在整个研究期间(包含 30 d 内)仅有 1 例(1/148,0.7%)发生主要安全事件,为术后第 22 d 发生迟发性同侧实质出血。除了上述这 1 例在术后 30 d 内发生的出血性卒中,研究期内无患者发生研究相关的出血性或缺血性事件,也未报告其他与手术或器械相关的严重不良事件。

在成功置入 WEB 并完成 12 个月影像学随访的

143 例患者中,完全闭塞率(WOS 1-2 级)为 53.8%(77/143),充分闭塞率(WOS 1-3 级)为 84.6%(121/143),术后 12 个月研究期内再治疗率为 5.6%(8/143),至术后 12~18 个月时,累积再治疗率升至 9.8%(14/143)。所有患者均未发生自发性或动脉瘤再破裂引起的蛛网膜下腔出血。所有使用 WEB 设备治疗的患者中,均未观察到明显的(>50%)载瘤动脉狭窄。在 5 年随访时,完成影像学随访的患者显示完全闭塞率为 67.5%(56/83),充分闭塞率(WOS 1-3 级)为 96.4%(80/83),全因死亡率为 4.7%(7/150),从第 1 年到第 5 年,未发生与 WEB 装置或手术操作相关的死亡或重大卒中事件,总的再治疗率为 15.5%(23/148)^[12,15,26]。

欧洲的系列研究(WEBCAST、French Observatory、WEBCAST-2)^[13,18,20,27],共纳入 168 例患者(169 枚动脉瘤),其中 163 例动脉瘤(96.4%)成功置入 WEB 装置,包括破裂动脉瘤 14/169(8.3%),未破裂动脉瘤 150/169(88.8%),复发动脉瘤 5/169(3.0%)。在 12 个月的随访中,有 153 例采用 mRS 评分进行了临床评估,其中,手术相关死亡率为 0.7%(1/153),手术相关并发症发生率为 1.3%(2/153)^[13,18,20,27]。中期及长期随访显示动脉瘤闭塞情况如下:完全闭塞率(WOS 1-2 级)为 50.8%~52.9%,充分闭塞率(WOS 1-3 级)为 79.1%~83.6%,未达到完全闭塞(WOS 3-4 级)的动脉瘤均未发生再出血,1 年、2 年、3 年的再治疗率分别为 6.9%、9.3%、11.4%,其中 1~2 年期间的再治疗率与 WEB-IT 研究报道的结果相似^[13,18,20,27]。5 年随访未报告延迟性不良事件,从手术到最终随访,均未报告与 WEB 相关的死亡率,且手术相关死亡率很低(1.0%),5 年期间充分闭塞率为 77.9%,且再治疗率较低(11.6%)。国外开展 WEB 研究较早,近年来国内部分中心开展 WEB 进行治疗研究,其结果也初步证实了 WEB 装置的可行性和安全性,但随访时间较短^[5-6]。后续相似研究如 Gajera 等^[19]报道的澳大利亚应用 WEB 的经验,也证实了 WEB 临床应用的高安全性及出色疗效。因此,与传统治疗方法相比,WEB 治疗显示出良好的安全性和有效性。

上述研究都是以未破裂动脉瘤为主要研究对象,破裂动脉瘤占比不高。Spelle 等^[21,22]针对破裂动脉瘤开展了评估 WEB 装置预防再出血效果和安全性临床研究,即 CLARYS 研究(Clinical Assessment of WEB device in Ruptured aneurYSms),共纳入 60 例破裂动脉瘤患者,其中 56 例成功置入了 WEB 装置,46 例完成 1 年期影像学随访。随访结果为破裂动脉瘤完全闭塞率 41.3%(19/46)、充分闭塞 87.0%,与 WEB 相关的 1 个月和 1 年并发症发生率及死亡率均为 0%。CLARYS 研究在术后 1 个月和 1 年时的再出血发生率

均为零,对于使用WEB治疗破裂动脉瘤而言其结果满意,表明WEB能有效预防破裂动脉瘤的早期(围手术期)和中晚期再出血。另一项纳入 100 例破裂动脉瘤患者的单中心研究^[28-29],该研究报道的破裂动脉瘤WEB治疗的影像学 and 临床随访结果优于既往WEB系列研究的结果,也优于传统的弹簧圈栓塞(无论是否行支架辅助),基于此经验,该中心将WEB作为治疗 2~10 mm 破裂动脉瘤的首选方法。对于破裂的分叉部动脉瘤,尤其是宽颈动脉瘤进行介入治疗,传统支架辅助弹簧圈栓塞,围手术期需要系统性抗凝、抗血小板治疗,其诱发动脉瘤再次破裂风险高,而WEB置入围手术期无需系统性使用抗血小板且能有效防止动脉瘤再出血,这突显了WEB在治疗破裂动脉瘤方面的独特优势。同时,对于破裂及未破裂动脉瘤,WEB置入操作相对简便,其缩短手术时间、避免使用支架的优势,可以有效减少术中发生缺血及术后发生再出血的概率。Musmar 等^[30]回顾性分析全球 30 个机构的研究数据,通过比较WEB治疗小(最大直径<7.5 mm)和大(≥ 7.5 mm)动脉瘤的血管造影和临床结果,发现小型动脉瘤组(最大直径<7.5 mm)的完全闭塞率更高、再治疗率更低,这对于不同大小动脉瘤的介入方法选择上有一定参考价值,该结果提示,最大直径<7.5 mm的动脉瘤可能更适合选择WEB治疗。最新一代的WEB装置是WEB-17 系统,Pagano 等^[31]的研究报道了WEB-17 的治疗结果,显示其具有高可行性(95.3%)、高安全性(术后 1 个月并发症发生率和死亡率分别为 3.8% 和 1.9%)以及良好的疗效(12 个月充分闭塞率 86.3%)。因此,基于WEB表现出的高安全性及良好的治疗效果,以及WEB系列的不断更新升级,一些中心已将WEB作为治疗各类分叉部颅内动脉瘤的首选(一线)介入方案^[30,32]。

WEB治疗相关的并发症主要包括缺血性和出血性两大类。在欧洲系列研究中,血栓栓塞事件的发生率为 14.4% (24/167),其中仅 3.0% (5/167)遗留永久性神经功能缺损;出血性并发症的发生率为 1.8% (3/167),包括 2 例术中动脉瘤破裂和 1 例与抗血小板药物相关的迟发性颅内血肿,所有出血病例均未导致临床状况恶化^[13,18,20,27]。WEB应用过程中的并发症主要集中在缺血性(血栓栓塞性)和出血性并发症,其中血栓栓塞性并发症最为常见,且可能导致永久性神经功能缺损。

许多研究对于各类并发症的出现,给出了一些处理办法及预防建议。若在WEB解脱前发生缺血性并发症,可能由WEB尺寸选择不当或装置在瘤囊内位置不佳引起,可通过更换合适尺寸的WEB装置,或将装置回收、调整后重新释放来解决,此外,也可采用球囊辅助将WEB稳定在合适位置。若在WEB解脱后发生血栓栓塞并发症,常因解脱后WEB位置发生改变(如移位、突出加重)所致,通常需要置入支架以

改善受累载瘤动脉的血流。若载瘤动脉受累程度较轻,偶尔可尝试使用微导丝及微导管将装置推回动脉瘤囊内,若载瘤动脉受累严重,发生改变(如移位、突出加重)所致;此外,有研究尝试通过选择稍大尺寸的WEB装置来降低缺血性并发症风险,这也是一种可供考虑的策略^[8,33]。

出血性并发症相对少见,但输送VIA微导管到位的过程比实际放置WEB的过程更容易导致出血^[2,12-15]。放置WEB的过程中的出血通常发生在WEB被VIA推出的瞬间,WEB完全释放后发生破裂的可能性很小,此外,如果整个输送系统(VIA微导管+WEB推送杆)意外地受到前向推力,在WEB解脱时也可能导致动脉瘤破裂,这些导致出血的原因提醒术者在操作过程中应动作轻柔并良好把控WEB装置系统。一旦发生术中动脉瘤破裂,应继续完成WEB的释放,利用其填塞效应进行止血,而非撤回装置,同时立即拮抗肝素化(如使用鱼精蛋白);若仍有持续渗血,可采用球囊在载瘤动脉瘤颈处临时封堵以辅助止血。多数报道的术中动脉瘤破裂的情况均未造成永久性的功能障碍^[21-22,28-29]。

5 WEB超适应症的临床应用情况

虽然FDA批准WEB主要用于颅内分叉部动脉瘤,但关于其超适应症应用的报道不断增多^[9-11,16]。一项纳入 27 个队列共 1 831 例患者的回顾性研究^[9],发现 86% 的动脉瘤位于FDA批准的四个主要部位:大脑中动脉(34%)、前交通动脉(26%)、基底动脉尖(18%)和颈内动脉末端(7%)。其余 14% 属于超适应症使用,最常见的超适应症使用部位是后交通动脉(posterior communicating artery, Pcom),占 8%,其次是大脑前动脉(anterior cerebral artery, ACA)区域(包括胼周动脉等),占 6%,以及小脑后下动脉(posterior inferior cerebellar artery, PICA),占 4%,此外,WEB也被用于治疗传统介入方法(如弹簧圈栓塞)后复发的动脉瘤。另一项专门针对 285 例侧壁动脉瘤的研究^[9],报道最常见的超适应症应用部位分布为:前循环(80%),其中Pcom占 20%,其次是颈内动脉后交通段,为 14%,眼动脉段为 12%;后循环(20%),其中小脑上动脉(superior cerebellar artery, SCA)和PICA各占 17%。综上所述,现有临床经验表明WEB可用于治疗超适应症位置的动脉瘤,主要包括颈内动脉侧壁动脉瘤(如Pcom动脉瘤)以及部分大脑前动脉、小脑上动脉和小脑后下动脉等分支血管的动脉瘤,其中前循环最常见为后交通动脉瘤,这为这些部位动脉瘤的介入治疗提供了新的选择。

Adeeb 等^[10]报道侧壁动脉瘤的超说明书使用情况,结果显示,侧壁动脉瘤组与分叉部动脉瘤组患者

在长期闭塞率、再治疗率及并发症发生率方面均无显著差异。新一代 WEB 17 系统改进了输送系统,其外径更小、柔顺性更好,且微导管头端可预塑形成 45° 或 90° 弯型,使其可用于治疗更小的动脉瘤,并在成角刁钻的动脉瘤或侧壁动脉瘤中更易于输送和释放 WEB,为 WEB 的超适应症应用提供了更好的技术条件^[3,31]。Goertz 等^[11]比较了 WEB 21 与 WEB 17 治疗颅内动脉瘤的安全性和有效性,显示 WEB 17 置入成功率更高,且两者的安全性与有效性相当,且 WEB 17 系统似乎更适合用于治疗小脑后下动脉动脉瘤^[16]。由此可见,WEB 不仅适用于说明书推荐的分叉部动脉瘤,对于侧壁动脉瘤以及部分外周动脉(如 ACA、PICA、SCA)的动脉瘤同样可行,但 WEB 的超适应症应用仍需谨慎,需要更多研究尤其是长期随访数据来进一步评估其疗效和安全性。

6 小结与展望

瘤内扰流装置 WEB 作为一种全新治疗理念的介入治疗设备,为介入治疗颅内分叉部动脉瘤,尤其是宽颈分叉部动脉瘤这一传统难题提供了有效解决方案。WEB 置入尺寸的选择,是治疗成功的关键。与其他血管内治疗一样,WEB 置入后需进行定期随访,DSA 是影像学随访评估的标准方法,通常采用 WOS 量表对动脉瘤闭塞效果进行标准化量化评估。其安全性和有效性已得到多项重要临床研究的证实。相较于传统支架辅助弹簧圈栓塞等治疗方式,WEB 显示出可比的或更高的动脉瘤(充分)闭塞率、以及较低的并发症发生率、死亡率和术后再治疗率。WEB 具有在简单手术和围手术期通常无需系统性抗血小板药物干预、且极少需要支架辅助的优势,使其在破裂动脉瘤的治疗中具有独特优势。虽然部分研究中心将 WEB 作为一线介入治疗方案,然而,目前 WEB 可选的尺寸范围仍相对有限,对于过小(如 <2 mm)或过大(如 >11 mm)的颅内动脉瘤,可能无法应用 WEB 装置进行治疗,仍需依赖传统治疗方法,因此,WEB 为颅内动脉瘤的介入治疗提供了一种安全有效的补充或替代选择。随着 WEB 系统的不断迭代更新和临床经验的持续积累,WEB 的操作日益便捷,学习曲线逐渐缩短,其临床适用范围也在逐步拓展,超适应症应用的报道日益增多,但仍需严格把握其适应症,并需要更多长期随访研究进一步评估其安全性和长期疗效。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 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(9378): 103–110.

[2] Goyal N, Hoit D, DiNitto J, et al. How to WEB: a practical review of methodology for the use of the Woven EndoBridge[J]. *J Neurointerv Surg*, 2020, 12(5): 512–520.

[3] van Rooij SBT, Peluso JP, Sluzewski M, et al. The new low-profile WEB 17 system for treatment of intracranial aneurysms: first clinical experiences[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2018, 39(5): 859–863.

[4] De Leacy RA, Fargen KM, Mascitelli JR, et al. Wide-neck bifurcation aneurysms of the middle cerebral artery and basilar apex treated by endovascular techniques: a multicentre, core lab adjudicated study evaluating safety and durability of occlusion (branch)[J]. *J Neurointerv Surg*, 2019, 11(1): 31–36.

[5] 林建华, 孔祥杰, 许璟. WEB 瘤内扰流装置治疗颅内宽颈分叉部动脉瘤的效果观察[J]. *心电与循环*, 2023, 42(4): 389–392.

[6] 丁立山, 陈清亮, 李腾飞, 等. Woven EndoBridge 血流导向装置用于治疗颅内血管分叉部宽颈动脉瘤[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2024, 21(7): 444–446.

[7] 张倩倩, 丁津一, 郜洁钰, 等. Woven EndoBridge 瘤内扰流装置治疗颅内动脉瘤的多中心回顾性研究[J]. *中华神经外科杂志*, 2024, 40(3): 272–277.

[8] Bañez RMF, Chong W. Retrieval of displaced Woven EndoBridge intrasaccular flow disruptor using solitaire platinum revascularization device[J]. *Neurointervention*, 2022, 17(2): 106–109.

[9] Teranishi K, Ikemura R, Arai S, et al. Endovascular treatment of bifurcation aneurysms with the Woven EndoBridge: product features and selected results of off-label use[J]. *J Neuroendovasc Ther*, 2024, 18(3): 65–74.

[10] Adeeb N, Dibas M, Diestro JDB, et al. Multicenter study for the treatment of sidewall versus bifurcation intracranial aneurysms with use of Woven EndoBridge (WEB)[J]. *Radiology*, 2022, 304(2): 372–382.

[11] Goertz L, Liebig T, Siebert E, et al. Propensity score-matched comparison of WEB 17 and WEB 21 with 4–7 mm device sizes for the treatment of unruptured intracranial aneurysms[J]. *Clin Neuroradiol*, 2024, 34(4): 841–850.

[12] Fiorella D, Molyneux A, Coon A, et al. Demographic, procedural and 30-day safety results from the WEB intra-saccular therapy study (WEB-IT)[J]. *J Neurointerv Surg*,

- 2017, 9(12): 1191–1196.
- [13] Pierot L, Moret J, Barreau X, et al. Safety and efficacy of aneurysm treatment with WEB in the cumulative population of three prospective, multicenter series[J]. J Neurointerv Surg, 2018, 10(6): 553–559.
- [14] Popielski J, Berlis A, Weber W, et al. Two-center experience in the endovascular treatment of ruptured and unruptured intracranial aneurysms using the WEB device: a retrospective analysis[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2018, 39(1): 111–117.
- [15] Arthur AS, Molyneux A, Coon AL, et al. The safety and effectiveness of the Woven EndoBridge (WEB) system for the treatment of wide-necked bifurcation aneurysms: final 12-month results of the pivotal WEB intrasaccular therapy (WEB-IT) study[J]. J Neurointerv Surg, 2019, 11(9): 924–930.
- [16] Goertz L, Liebig T, Siebert E, et al. Treatment of proximal posterior inferior cerebellar artery aneurysms by intrasaccular flow disruption: a multicenter experience [J]. AJNR, 2022, 43(8): 1158–1163.
- [17] Tanabe J, Nakahara I, Ishihara T, et al. Decision-making tree for optimal Woven EndoBridge device sizing with ideal Woven EndoBridge –aneurysm volume (iwave) ratio [J]. J Clin Neurosci, 2023, 114: 55–61.
- [18] Pierot L. Ten years of clinical evaluation of the Woven EndoBridge: a safe and effective treatment for wide-neck bifurcation aneurysms[J]. Neurointervention, 2021, 16(3): 211–221.
- [19] Gajera J, Maingard J, Foo M, et al. The Woven EndoBridge device for the treatment of intracranial aneurysms: initial clinical experience within an australian population[J]. Neurointervention, 2022, 17(1): 28–36.
- [20] Pierot L, Moret J, Barreau X, et al. Aneurysm treatment with Woven EndoBridge in the cumulative population of 3 prospective, multicenter series: 2-year follow-up[J]. Neurosurgery, 2020, 87(2): 357–367.
- [21] Spelle L, Herbreteau D, Caroff J, et al. Clinical assessment of WEB device in ruptured aneurysms (clarys): 12-month angiographic results of a multicenter study[J]. J Neurointerv Surg, 2023, 15(7): 650–654.
- [22] Spelle L, Herbreteau D, Caroff J, et al. Clinical assessment of WEB device in ruptured aneurysms (clarys): results of 1-month and 1-year assessment of rebleeding protection and clinical safety in a multicenter study[J]. J Neurointerv Surg, 2022, 14(8): 807–814.
- [23] Lubicz B, Klisch J, Gauvrit JY, et al. WEB-DL endovascular treatment of wide-neck bifurcation aneurysms: short- and midterm results in a european study[J]. AJNR, 2014, 35(3): 432–438.
- [24] Caroff J, Mihalea C, Klisch J, et al. Single-layer WEBs: Intrasaccular flow disrupters for aneurysm treatment–feasibility results from a european study[J]. AJNR, 2015, 36(10): 1942–1946.
- [25] Rouchaud A, Brinjikji W, Ding YH, et al. Evaluation of the angiographic grading scale in aneurysms treated with the WEB device in 80 rabbits: correlation with histologic evaluation[J]. AJNR, 2016, 37(2): 324–329.
- [26] Fiorella D, Molyneux A, Coon A, et al. Safety and effectiveness of the Woven EndoBridge (WEB) system for the treatment of wide necked bifurcation aneurysms: Final 5 year results of the pivotal web intra-saccular therapy study (WEB-IT)[J]. J Neurointerv Surg, 2023, 15(12): 1175–1180.
- [27] Pierot L, Szikora I, Barreau X, et al. Aneurysm treatment with the Woven EndoBridge (WEB) device in the combined population of two prospective, multicenter series: 5-year follow-up[J]. J Neurointerv Surg, 2023, 15(6): 552–557.
- [28] van Rooij SBT, van Rooij WJ, Peluso JP, et al. WEB treatment of ruptured intracranial aneurysms: a single-center cohort of 100 patients[J]. AJNR, 2017, 38(12): 2282–2287.
- [29] Kortman H, van Rooij SBT, Mutlu U, et al. WEB treatment of ruptured intracranial aneurysms: Long-term follow-up of a single-center cohort of 100 patients[J]. AJNR, 2023, 44(1): 60–64.
- [30] Musmar B, Salim HA, Adeeb N, et al. Treatment of large intracranial aneurysms using the Woven EndoBridge (WEB): a propensity score-matched analysis[J]. Neurosurg Rev, 2024, 47(1): 374.
- [31] Pagano P, Cortese J, Soize S, et al. Aneurysm treatment with Woven EndoBridge –17: angiographic and clinical results at 12 months from a retrospective, 2-center series [J]. AJNR, 2023, 44(4): 467–473.
- [32] Alpay K, Lindgren A, Rautio R, et al. The Woven EndoBridge for intracranial aneurysms: radiological outcomes and factors influencing occlusions at 6 and 24 months[J]. Neuroradiol J, 2023, 36(2): 206–212.
- [33] Goertz L, Liebig T, Siebert E, et al. Oversizing of the Woven EndoBridge for treatment of intracranial aneurysms improves angiographic results (webinar)[J]. World Neurosurg, 2024, 181: e182–e191.