

· 文献综述 ·

经验性使用自膨式支架在颅内动脉粥样硬化性狭窄中的应用现状*

廖章正 综述 段鸿洲** 审校

(北京大学第一医院神经外科, 北京 100034)

文献标识: A

文章编号: 1009-6604(2024)06-0445-06

doi: 10.3969/j.issn.1009-6604.2024.06.008

颅内动脉粥样硬化性狭窄 (intracranial atherosclerotic stenosis, ICAS) 是引起缺血性脑卒中的常见原因, 存在较高的致残率和致死率。ICAS 的治疗方法尚缺乏共识。鉴于血管内治疗在冠状动脉狭窄和颅外颈动脉狭窄中的良好效果, 以颅内支架植入为代表的血管内治疗曾被认为是治疗 ICAS 安全有效的方法。然而, 目前唯一经过美国食品药品监督管理局 (Food and Drug Administration, FDA) 批准可应用于 ICAS 治疗的 Wingspan 支架在临床研究中却表现出较高的围术期并发症发生率和支架内再狭窄率^[1]。因此, 一些原本为其他颅内血管疾病设计的颅内支架被经验性 (off-label) 应用于 ICAS 治疗。本文对目前在 ICAS 治疗中经验性使用较多的几款颅内自膨式支架的应用现状进行综述, 总结这些支架的特点及其可能更加适合的应用场景。

1 对 ICAS 经验性使用自膨式支架的背景

ICAS 是全球缺血性脑卒中的重要原因, 在缺血性脑卒中患者中, 以 ICAS 为病因的占 50%^[2,3]。ICAS 不仅与缺血性卒中关系密切, 还与认知功能障碍、痴呆和阿尔茨海默病的发生有关, 且与是否发生缺血性卒中无关^[4]。因此, 针对 ICAS 的治疗越来越受到关注。尽管有关 ICAS 治疗的基础及临床研究已经广泛开展, 目前 ICAS 的有效治疗方法仍存在较大争议。

ICAS 的治疗方法包括药物和外科手术, 其中血

管内治疗是外科手术最重要的方法。与冠状动脉或外周动脉不同, 颅内动脉走行迂曲, 血管壁较薄且富有穿支, 通常用于冠状动脉或外周血管病变的球囊扩张式支架一般难以到位, 且球囊扩张后存在血管壁破裂或穿支闭塞的风险, 严重者可引起脑出血、脑梗死等灾难性后果, 因此, 目前对大多数 ICAS 均推荐使用自膨式支架处理。Wingspan 支架是由美国 Boston Scientific 公司生产的由镍铬合金制成的自膨式支架, 与 Gateway PTA 球囊导管配套应用于 ICAS 治疗。使用球囊导管在 ICAS 处缓慢扩张, 将 Wingspan 支架释放于病变处, 解除狭窄, 改善脑血流。Henkes 等^[5]报道 Wingspan 支架治疗 ICAS 的安全性和有效性后, 该支架于 2005 年通过美国 FDA 的人道主义器械豁免 (Humanitarian Device Exemption, HDE) 审核, 获批应用于治疗症状性 ICAS, 同年获得欧盟 CE 认证, 并于次年通过我国国家食品药品监督管理总局审核, 在我国上市。然而, 2011 年 Chimowitz 等^[1]的一项由美国国立神经病学与卒中研究所 (National Institute of Neurological Disorders and Stroke, NINDS) 资助、共 50 余所医疗中心参与的大型前瞻性随机对照临床研究 SAMMPRIS (Stenting versus Aggressive Medical Management for Preventing Recurrent Stroke in Intracranial Stenosis) 显示, 与单纯药物治疗组 (227 例) 相比, 药物加 Wingspan 支架植入组 (224 例) 治疗后 30 天内卒中或死亡率显著升高 (14.7% vs. 5.8%, $P=0.002$),

* 基金项目: 北京大学第一医院跨学科交叉研究专项基金 (2023IR15)

** 通讯作者, E-mail: duanhongzhou@126.com

且随访 1 年内复合终点事件发生率显著升高 (20.0% vs. 12.2%, $P=0.009$)。虽然在 Wingspan 支架系统上市后,针对其安全性进行的前瞻性研究^[6]表明,在严格遵守该支架适应证且由经验丰富的医师操作的前提下,可将围术期卒中或死亡率降至 2.6%,其他针对该支架安全性的研究^[7]也显示,严格把握介入手术适应证可以显著降低术后 30 天内卒中或死亡风险,但是在 SAMMPRIS 试验之后进行的几项对比药物治疗和 Wingspan 支架植入治疗的大型前瞻性随机对照临床研究^[8~11]中,均无证据支持 Wingspan 支架植入治疗优于单纯药物治疗。因此,临床上需要可以用于治疗 ICAS 的新的、更加安全、有效的颅内支架。几种原本为其他疾病(如颅内动脉瘤等)设计的颅内支架应用于 ICAS 的治疗中,已有研究显示这些在 ICAS 治疗中经验性应用的颅内支架的安全性和有效性令人满意^[12]。

2 经验性使用自膨式支架在 ICAS 治疗中的应用

这些经验性应用的支架大多是为治疗颅内动脉瘤设计的自膨式支架。Zhong 等^[12]2023 年的一项纳入经验性应用自膨式支架或 Wingspan 支架治疗 ICAS 的 58 项研究共 4632 例的 meta 分析结果显示,相比于 Wingspan 支架,经验性应用自膨式支架植入 30 天后缺血性卒中或死亡率和术后 30 天~1 年内支架内再狭窄率均显著降低 (1.66% vs. 4.35%, $P=0.028$; 8.84% vs. 15.73%, $P=0.036$),认为经验性应用自膨式支架在治疗 ICAS 中具有潜力。下面对已经应用于临床治疗 ICAS 的几款自膨式支架进行总结。

2.1 Enterprise 支架

Enterprise 支架是为颅内宽颈动脉瘤设计的闭环镍钛合金自膨式支架系统,在动脉中膨胀可高达 70%,并在必要时可重新回收和再释放^[13]。早期 Wingspan 支架治疗 ICAS 的研究有较高的术后支架内再狭窄(狭窄程度 > 50%)率 (29.7% ~ 31.2%)^[14,15]。一些神经介入医师认为 Wingspan 支架较高的支架内再狭窄率可能与其径向支撑力较高刺激血管内膜增生有关,因此开始尝试将具有较小的径向支撑力的 Enterprise 支架应用于症状性 ICAS 的治疗^[16]。

我国数家中心^[17~22]报道 Enterprise 支架治疗症状性 ICAS,对病变部位进行球囊扩张并植入

Enterprise 支架,支架植入成功率 99.5% (398/400) ~ 100% (30/30 ~ 130/130),支架植入后病变血管狭窄程度从术前的 $\geq 70\%$ 降至 15% ~ 28%。国外相关研究的技术成功率和有效性与我国的研究相近^[23,24]。

在治疗的安全性方面,研究^[7,17~25]表明,Enterprise 支架植入治疗 ICAS 术后 30 天内卒中或死亡率为 3.3% (2/60) ~ 10% (3/30),令人满意。关于支架内再狭窄率,国内的几项研究均较低 (5% ~ 17.3%)^[17~22]。综合上述结果,可以认为 Enterprise 支架治疗 ICAS 是安全且有效的。Sun 等^[19]对 Enterprise 支架治疗 ICAS 效果的系统评价中,5 项研究 343 处病变的支架内再狭窄合并发生率 10.1% (95% CI: 4.6% ~ 22.2%),症状性支架内再狭窄合并发生率 4.9% (95% CI: 2.9% ~ 8.5%),验证了上述结论。Wang 等^[26]2023 年一项纳入 19 项研究 452 例的 meta 分析结果表明,相较于 Wingspan 支架,Enterprise 支架植入术后支架内再狭窄率显著降低 (14.83% vs. 29.78%, $P < 0.0001$),因此认为 Enterprise 支架的远期预后优于 Wingspan 支架。Zhang 等^[21]对 Enterprise 支架植入术后支架内再狭窄的影响因素进行分析,结果显示,3.5 ~ 14 月(平均 5.7 月)血管造影诊断支架内再狭窄率 17.3% (62/359),病变位置、血管钙化程度、球囊扩张压力、残余狭窄、术中夹层和脑血流的脑梗死溶栓分级 (thrombolysis in cerebral infarction grade, TICI) 是支架内再狭窄的影响因素,并以此建立预测模型。

Yamaga 等^[7]对 Wingspan 支架植入治疗 ICAS 的 30 项研究共 2071 例进行系统评价,结果显示,不同部位血管病变的治疗效果不同,病变位于基底动脉者术后 30 天内卒中或死亡率高达 13.5%,明显高于病变位于其他动脉者(大脑中动脉 6.2%,颈内动脉 1.1%,椎动脉 0.9%)。Zhou 等^[27]报道 Enterprise 支架植入治疗 262 例症状性后循环动脉 ICAS (275 处病变),术后病变血管狭窄程度从 (86.3 ± 6.2)% 降至 (19.3 ± 5.4)%,手术并发症发生率 5.3% (14/262),因此认为 Enterprise 支架在后循环动脉中的安全性较高,尽管病变位于基底动脉者并发症发生率仍高于椎动脉 [7.5% (12/159) vs. 1.9% (2/103), $P=0.049$]。

经验性应用 Enterprise 支架治疗 ICAS 表现出了令人满意的安全性及有效性,并具有优于 Wingspan 支架的远期预后,因此我们认为 Enterprise 支架具有取代 Wingspan 支架治疗 ICAS 的潜力。Enterprise 支架的闭环设计和较低的径向支撑力赋予其较好的释放性能和灵活性,使其能够部署到较细血管的狭窄病变处。但其较低的径向支撑力可能会限制其在陈旧性、有较多钙化的病变处的应用。不同于 Wingspan 支架,Enterprise 支架治疗位于基底动脉的病变的安全性较高,但术后并发症发生率仍高于椎动脉^[27],因此我们认为,Enterprise 支架在治疗基底动脉 ICAS 中的应用仍需更多临床研究进行验证。

2.2 Neuroform 支架

Neuroform 支架是经典的用于颅内动脉瘤介入治疗的支架,是目前应用最广泛的颅内支架之一^[28]。第一代 Neuroform 支架于 2002 年首次被批准应用于颅内宽颈动脉瘤,此后经过数次迭代,目前广泛应用的是 Neuroform EZ 支架^[28,29](下称 EZ 支架)。EZ 支架由镍钛合金制成,不同于 Enterprise 支架,其具有与 Wingspan 支架类似的开环结构,可以提供在通过弯曲血管时的高灵活性和顺应性。EZ 支架的径向支撑力较 Wingspan 支架更低,理论上在用于治疗 ICAS 的过程中,能在不增加支架内再狭窄的前提下,减少“雪梨效应”等引起穿支闭塞的卒中风险,降低围术期并发症发生率^[29]。但由于是开环设计,EZ 支架释放后无法回收及重新定位再释放,这也是其与 Enterprise 支架不同之处。

由于 EZ 支架结构上具有 Wingspan 支架的优点,同时规避了一些不足,因此具有降低围术期并发症发生率的潜力。针对 EZ 支架治疗症状性 ICAS 的回顾性研究^[30~35]结果表明,EZ 支架植入的技术成功率均为 100% (18/18 ~ 91/91),支架植入后病变血管平均狭窄程度从术前的 80% ~ 90% 显著降低至 15% ~ 24%,EZ 支架治疗 ICAS 的有效性令人满意。

在安全性方面,相关研究报道的围手术期卒中或死亡发生率较低(0% ~ 6%)^[30~35]。Zhou 等^[36]回顾性比较 EZ 支架(77 例)和 Wingspan 支架(113 例)治疗大脑中动脉狭窄的安全性,经倾向性评分匹配,2 组各 54 例,相比于 Wingspan 组,EZ 组术后

30 天内卒中或死亡率较低,但差异无显著性[EZ 组 5.6% (3/54), Wingspan 组 7.4% (4/54), $P = 1.00$],因此认为对于大脑中动脉狭窄,EZ 支架可以代替 Wingspan 支架。对于支架内再狭窄率,不同研究的结果差异较大。Du 等^[30]报道 EZ 支架治疗 45 例 ICAS,术后平均随访 7.3 月,均未出现支架内再狭窄(0%);范承哲等^[35]的研究中 36 例术后 6 个月内均未出现支架内再狭窄(0%)。而其他研究^[31~34]报道随访期间支架内再狭窄率 10% ~ 17%。术后随访多数无症状患者拒绝行 DSA 等有创检查,无法计入随访例数,因此可能造成对术后支架内再狭窄率的高估。Zhou 等^[36]的研究表明,相比于 Wingspan 组,EZ 组术后支架内再狭窄率更低,但差异无显著性[未匹配基线特征的 152 例:EZ 组 19.0% (12/63), Wingspan 组 20.2% (18/89), $P = 0.39$;匹配基线特征的 85 例:EZ 组 14.3% (6/42), Wingspan 组 23.3% (10/43), $P = 0.41$],认为 EZ 支架的安全性与 Wingspan 支架相当。我们认为,目前有关 EZ 支架植入术后支架内再狭窄发生率的研究结果差异较大,EZ 支架能否有效降低术后支架内再狭窄率仍需更多大规模临床研究进行验证。

经验性应用 EZ 支架治疗 ICAS 表现出了令人满意的安全性和有效性,不同于其他经验性应用自膨式支架,EZ 支架的开环设计赋予其在弯曲血管中更好的顺应性和灵活性,因此我们认为 EZ 支架在治疗弯曲血管处、血管分叉处及血管分叉附近的 ICAS 具有较大潜力。同样,较低的径向支撑力可能会限制其在具有钙化的病变处的应用。

近年来,在 EZ 支架的基础上开发出新一代 Neuroform 支架——Neuroform Atlas 支架(下称 Atlas 支架)^[37]。Atlas 支架的结构与 EZ 支架类似,但其对血管壁的顺应性更高,所需要的输送导管内径更小(0.0165 英寸,EZ 支架输送导管内径最小为 0.027 英寸),使其具有部署至细小动脉病变处的能力。应用于 ICAS 治疗时,使用 Gateway 球囊导管对责任动脉狭窄处进行预扩张后,Atlas 支架可以直接通过球囊导管进行支架定位与释放,而无需交换支架输送导管,因此减少更换导管相关并发症的发生^[29,38]。截至 2023 年 11 月,仅有 3 项小规模研究^[39~41]报道 Atlas 支架治疗 ICAS,共报道 50 例,其中 4 例围手术期卒中或死亡,完成随访者在随访期

间未观察到支架内再狭窄的倾向,因此认为 Altas 支架在 ICAS 治疗领域存在巨大潜力,其有效性和安全性有待进一步探索。

2.3 Solitaire 支架

Solitaire AB 支架同样是为治疗颅内动脉瘤设计的镍钛合金自膨式支架,具有良好的贴壁性,径向支撑力比 Wingspan 支架更低^[28,29]。释放 Solitaire AB 支架所需的微导管内径更细(0.021 英寸或 0.027 英寸),因此可以到达更远端的病变血管中^[33]。Solitaire AB 支架具有独特的闭环式设计且其近端的焊接装置需要在特定的情况下才能解脱,该结构特点使其在完全释放后仍可完全回收并调整位置再次释放,具有更好的释放性能^[28,29,33]。

目前将 Solitaire 支架应用于 ICAS 的研究较少。Duan 等^[42]2016 年首次报道应用 Solitaire 支架治疗 44 例 ICAS,技术成功率为 100%,术后责任动脉残余狭窄率 0%~40%, $(15.00 \pm 12.94)\%$,术后 30 天内卒中发生率 9.09% (4/44),术后平均随访 9.3 月,支架内再狭窄率 11.36% (5/44),因此认为 Solitaire 支架治疗 ICAS 的安全性和有效性令人满意。张荣举等^[33]回顾性比较 Solitaire AB 支架(51 例)和 Neuroform EZ 支架(91 例)治疗症状性 ICAS,均成功完成手术,Solitaire AB 组病变血管平均狭窄率从术前的 85.6% 降至 19.2%,围术期并发症发生率 3.9% (2/51),术后 6 个月 DSA 显示支架内再狭窄率 14.3% (4/28),与 Neuroform 组比较差异均无显著性($P > 0.05$),因此认为与 Neuroform EZ 支架一样,Solitaire AB 支架也是治疗症状性 ICAS 的安全有效的方法。

对于病变位于富穿支动脉(如基底动脉)的 ICAS,Wingspan 支架植入术后围术期并发症发生率高于其他部位病变^[7]。Cao 等^[43]2020 年报道 Solitaire AB 支架治疗富穿支血管(大脑中动脉 17 例,基底动脉 15 例)狭窄的结果,术后病变血管狭窄率 0%~40%, $(13.44 \pm 10.66)\%$,术后 30 天内并发症发生率为 3.1% (1/32),因此认为 Solitaire AB 支架治疗富穿支血管狭窄具有独特的优势,这种优势可能源自其更高的孔隙率,能够保护穿支血管开口。

我们认为,现有应用经验显示 Solitaire AB 支架也是 ICAS 有潜力的治疗方式之一,尤其是治疗位

于富穿支动脉(如基底动脉)的 ICAS。但 Solitaire AB 支架应用于 ICAS 治疗的相关资料不多,还需进一步积累。

2.4 LVIS 支架

LVIS 支架也是为颅内动脉瘤设计的镍钛合金自膨式支架,由单根金属丝紧密编织而成,闭环设计使其具有较强的径向支撑力和优秀的管壁贴附能力,并可在释放至 80% 的情况下回收并调整位置再次释放^[28,29]。该支架具有在透视下全段可见的优点,增加释放的准确性^[28]。

Tang 等^[44]报道 LVIS 支架治疗 31 例症状性 ICAS,仅 1 例围术期并发症(支架内血栓形成),21 例术后 6~36(11.43 ± 6.8)月复查血管造影,支架内再狭窄发生率 9.5% (2/21),因此认为 LVIS 支架治疗 ICAS 是有效的,并且有较低的并发症发生率和可接受的长期预后。Wang 等^[45]的研究也得到类似结果:围术期并发症发生率 2.9% (1/35),随访 6~20 个月(平均 8.5 月)支架内再狭窄率 8.6% (3/35)。值得注意的是,理论上 LVIS 支架的金属表面积较高,孔隙较小,可能增加支架内再狭窄的风险^[28],但上述 2 项研究^[44,45]结果均未显示 LVIS 支架较其他颅内支架有更高的支架内再狭窄率,该支架在 ICAS 治疗方面的安全性和有效性还需更多病例的验证。

我们认为,LVIS 支架在透视下全段可见的特点使其在治疗位置复杂、普通支架难以到位的 ICAS 具有优势,但该支架具有增加术后支架内再狭窄率的风险,因此其在 ICAS 治疗方面的安全性和有效性还需更多临床数据评估。

3 问题与展望

目前一部分自膨式支架,包括 Enterprise 支架、Neuroform 支架、Solitaire 支架和 LVIS 支架等,已经经验性应用于 ICAS 的治疗。这些支架与 Wingspan 支架的结构和作用机制相似,但其独有的特点使其具备较传统 Wingspan 支架更加优秀的性能,并得到数据的支持。有理由相信,在治疗 ICAS 时,根据患者的病变特征,结合不同支架的结构特点,经验性应用上述颅内支架的前景是值得期待的。然而,目前绝大多数有关颅内支架经验性应用于 ICAS 治疗的报道均为回顾性病例系列研究,且样本量较少,缺乏

足够强度的证据证实其较 Wingspan 支架或其他治疗方法的优势,今后仍需更大规模、更多中心参与的前瞻性临床随机对照试验探讨。

参考文献

- Chimowitz MI, Lynn MJ, Derdeyn CP, et al. Stenting versus aggressive medical therapy for intracranial arterial stenosis. *N Engl J Med*, 2011, 365(11):993 – 1003.
- Wang Y, Zhao X, Liu L, et al. Prevalence and outcomes of symptomatic intracranial large artery stenoses and occlusions in China: the Chinese Intracranial Atherosclerosis (CICAS) Study. *Stroke*, 2014, 45(3):663 – 669.
- Gutierrez J, Turan TN, Hoh BL, et al. Intracranial atherosclerotic stenosis: risk factors, diagnosis, and treatment. *Lancet Neurol*, 2022, 21(4):355 – 368.
- Dearborn JL, Zhang Y, Qiao Y, et al. Intracranial atherosclerosis and dementia: the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study. *Neurology*, 2017, 88(16):1556 – 1563.
- Henkes H, Miloslavski E, Lowens S, et al. Treatment of intracranial atherosclerotic stenoses with balloon dilatation and self-expanding stent deployment (WingSpan). *Neuroradiology*, 2005, 47(3):222 – 228.
- Alexander MJ, Zauner A, Chaloupka JC, et al. WEAVE trial: final results in 152 on-label patients. *Stroke*, 2019, 50(4):889 – 894.
- Yamaga H, Tsuboko Y, Terada T, et al. Comprehensive risk analysis of the Wingspan stent in relation to target vessels. *J Neuroendovasc Ther*, 2022, 16(9):458 – 466.
- Gao P, Wang T, Wang D, et al. Effect of stenting plus medical therapy vs medical therapy alone on risk of stroke and death in patients with symptomatic intracranial stenosis: the CASSISS randomized clinical trial. *JAMA*, 2022, 328(6):534 – 542.
- Zaidat OO, Fitzsimmons BF, Woodward BK, et al. Effect of a balloon-expandable intracranial stent vs medical therapy on risk of stroke in patients with symptomatic intracranial stenosis: the VISSIT randomized clinical trial. *JAMA*, 2015, 313(12):1240 – 1248.
- Miao Z, Jiang L, Wu H, et al. Randomized controlled trial of symptomatic middle cerebral artery stenosis: endovascular versus medical therapy in a Chinese population. *Stroke*, 2012, 43(12):3284 – 3290.
- Luo J, Wang T, Yang K, et al. Endovascular therapy versus medical treatment for symptomatic intracranial artery stenosis. *Cochrane Database Syst Rev*, 2023, 2(2):CD013267.
- Zhong C, Chen S, Zhang J, et al. Intracranial angioplasty with a self-expandable stent for intracranial atherosclerotic stenosis: systematic review and meta-analysis. *Front Neurol*, 2023, 13:1074228.
- Higashida RT, Halbach VV, Dowd CF, et al. Initial clinical experience with a new self-expanding nitinol stent for the treatment of intracranial cerebral aneurysms the Cordis Enterprise stent. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2005, 26(7):1751 – 1756.
- Levy EI, Turk AS, Albuquerque FC, et al. Wingspan in-stent restenosis and thrombosis: incidence, clinical presentation, and management. *Neurosurgery*, 2007, 61(3):644 – 650.
- Turk AS, Levy EI, Albuquerque FC, et al. Influence of patient age and stenosis location on Wingspan in-stent restenosis. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2008, 29(1):23 – 27.
- Vajda Z, Schmid E, Gütthe T, et al. The modified Bose method for the endovascular treatment of intracranial atherosclerotic arterial stenoses using the Enterprise stent. *Neurosurgery*, 2012, 70(1):91 – 101.
- Wang X, Wang Z, Wang C, et al. Application of the Enterprise stent in atherosclerotic intracranial arterial stenosis: a series of 60 cases. *Turk Neurosurg*, 2016, 26(1):69 – 76.
- Feng Z, Duan G, Zhang P, et al. Enterprise stent for the treatment of symptomatic intracranial atherosclerotic stenosis: an initial experience of 44 patients. *BMC Neurol*, 2015, 15:187.
- Sun B, Xu C, Wu P, et al. Intracranial angioplasty with Enterprise stent for intracranial atherosclerotic stenosis: a single-center experience and a systematic review. *Biomed Res Int*, 2021, 2021:6645500.
- Lee KY, Chen DY, Hsu HL, et al. Undersized angioplasty and stenting of symptomatic intracranial tight stenosis with Enterprise: evaluation of clinical and vascular outcome. *Interv Neuroradiol*, 2016, 22(2):187 – 195.
- Zhang K, Li TX, Wang ZL, et al. Factors affecting in-stent restenosis after angioplasty with the Enterprise stent for intracranial atherosclerotic diseases. *Sci Rep*, 2021, 11(1):10479.
- Cui R, Yan L, Kang K, et al. Long-term outcome of Enterprise stenting for symptomatic ICAS in a high-volume stroke center. *Front Neurol*, 2021, 12:672662.
- Salik AE, Selcuk HH, Zalov H, et al. Medium-term results of undersized angioplasty and stenting for symptomatic high-grade intracranial atherosclerotic stenosis with Enterprise. *Interv Neuroradiol*, 2019, 25(5):484 – 490.
- Jung WS, Kim SS, Lee KY, et al. Usefulness of self-expandable stent for recanalization of intracranial atherosclerotic disease: preliminary experience with Enterprise stent. *Neurointervention*, 2022, 17(1):37 – 44.
- Huang CM, Hong YF, Xing SH, et al. Thirty-day outcomes of the Enterprise stent in treating hypoperfusion of symptomatic intracranial stenosis. *World Neurosurg*, 2019, 129:e429 – e435.
- Wang N, Lu Y, Feng L, et al. Identifying risk factors for in-stent restenosis in symptomatic intracranial atherosclerotic stenosis: a systematic review and meta-analysis. *Front Neurol*, 2023, 14:1170110.
- Zhou ZL, Li TX, Zhu LF, et al. Safety and efficacy of enterprise stenting for symptomatic atherosclerotic severe posterior circulation

stenosis. Eur J Med Res, 2023, 28(1): 286.

28 Sarathy D, Elghareeb M, Clark A, et al. Update on clinical management with neurovascular stents. J Exp Neurol, 2022, 3(2): 49 – 59.

29 Zhao Z, Liang W, Yan L, et al. Optional or optimal? Off-label stenting for intracranial atherosclerotic stenosis: a scoping review. Interv Neuroradiol, 2023 Apr 26. Epub ahead of print.

30 Du Z, Mang J, Yu S, et al. Weighing in on the off-label use: initial experience of neuroform EZ stenting for intracranial arterial stenosis in 45 patients. Front Neurol, 2018, 9: 852.

31 Xu H, Quan T, Zaidat OO, et al. Neuroform EZ stenting for symptomatic intracranial artery stenosis: 30 days outcomes in a high-volume stroke center. Front Neurol, 2019, 10: 428.

32 贾子昌, 卞焕菊, 李 选, 等. Neuroform EZ 支架在治疗复杂症状性颅内动脉重度狭窄中的应用. 北京大学学报(医学版), 2019, 51(5): 835 – 839.

33 张荣举, 王 君, 曹向宇, 等. Neuroform EZ 支架及 Solitaire AB 支架在颅内动脉粥样硬化性重度狭窄治疗中的应用. 中华解剖与临床杂志, 2021, 26(4): 391 – 396.

34 Li H, Zhang L, Wang P, et al. The safety and efficacy of the Neuroform EZ stent for the treatment of symptomatic atherosclerotic stenosis in the middle cerebral artery. Clin Imaging, 2022, 82: 210 – 215.

35 范承哲, 王力锋, 马玉栋, 等. Neuroform EZ 支架在重度颅内动脉粥样硬化性狭窄患者中的初步临床研究. 中华内科杂志, 2022, 61(3): 304 – 309.

36 Zhou K, Cao Y, He XH, et al. A comparison of safety and effectiveness between Wingspan and Neuroform stents in patients with middle cerebral artery stenosis. Front Neurol, 2021, 12: 527541.

37 Jankowitz BT, Hanel R, Jadhav AP, et al. Neuroform Atlas Stent System for the treatment of intracranial aneurysm: primary results of the Atlas Humanitarian Device Exemption cohort. J Neurointerv Surg, 2019, 11(8): 801 – 806.

38 Takayanagi A, Cheng PK, Feng L. A novel technique for stenting of intracranial stenosis using the Neuroform Atlas stent and Gateway balloon catheter. Interv Neuroradiol, 2021, 27(6): 770 – 773.

39 Memon MZ, Ezzeldin M, Biswas A, et al. Novel technique of stent placement via gateway balloon in intracranial atherosclerosis-associated large vessel occlusion. J Neuroimaging, 2023, 33(5): 773 – 780.

40 Buonomo O, Mormina E, Caragliano AA, et al. Safety and effect of Neuroform Atlas stent in the treatment of symptomatic intracranial stenosis: a single-center experience. Heliyon, 2021, 7(9): e08040.

41 Ellenbogen Y, Hendriks EJ, Karadimas S, et al. Use of the neuroform atlas for stenting of intracranial atherosclerotic disease: clinical and angiographic outcomes. Interv Neuroradiol, 2023 Oct 10. Epub ahead of print.

42 Duan G, Feng Z, Zhang L, et al. Solitaire stents for the treatment of complex symptomatic intracranial stenosis after antithrombotic failure: safety and efficacy evaluation. J Neurointerv Surg, 2016, 8(7): 680 – 684.

43 Cao X, Wang J, Tian C, et al. Solitaire AB stent-angioplasty for stenoses in perforator rich segments: a single-center experience. Interv Neuroradiol, 2020, 26(5): 608 – 614.

44 Tang H, Lu Z, Zeng Z, et al. Endovascular treatment of symptomatic intracranial atherosclerotic stenosis with low profile visualized intraluminal support stent. J Clin Neurosci, 2021, 90: 256 – 261.

45 Wang JW, Li XY, Li CH, et al. Safety and efficacy of the Low-Profile Visualized Intraluminal Support stent in treating intracranial atherosclerotic stenosis. Neurologia (Engl Ed), 2023, 38(8): 521 – 529.

(收稿日期: 2024 – 01 – 12)

(修回日期: 2024 – 03 – 13)

(责任编辑: 王惠群)