

血流导向装置治疗颅内动脉瘤的中国专家共识



扫一扫下载指南原文

中国医师协会神经介入专业委员会出血性脑血管病神经介入专业委员会(学组) 中国医师协会神经外科医师分会神经介入专业委员会 中国医师协会介入医师分会神经介入专业委员会

通信作者:杨新健,首都医科大学附属北京天坛医院神经介入科 100070, Email: yangxinjian@voiceoftiantan.org;张鸿祺,首都医科大学宣武医院神经外科,北京 100053, Email:hqzh@vip.163.com;刘建民,海军军医大学长海医院神经外科,上海 200433, Email:chstroke@163.com;李天晓,河南省人民医院神经外科,郑州 450003, Email:dr.litianxiao@vip.163.com

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC1300802)

DOI: 10.3760/cma.j.cn112050-20200229-00089

一、背景

颅内动脉瘤在普通人群中的发病率约为 3% ~ 5%,患者每年发生动脉瘤破裂的概率约为 0.95%^[1]。然而,动脉瘤一旦发生破裂出现蛛网膜下腔出血(SAH),其致死率可达 40%^[2]。因此,对于颅内动脉瘤的及时干预非常重要。当前,颅内动脉瘤血管内治疗方式的安全性及有效性已被国际未破裂颅内动脉瘤研究(international study of unruptured intracranial aneurysms, ISUIA)^[3]及国际蛛网膜下腔出血动脉瘤试验(international subarachnoid aneurysm trial, ISAT)^[4]等多项大型临床试验研究所证实。然而,颅内复杂动脉瘤(如巨大型动脉瘤、宽颈动脉瘤、梭形和夹层动脉瘤等),因存在治疗过程复杂、治疗并发症率高、治疗后复发率高等特点,其血管内治疗仍是巨大挑战^[5]。近年来,血流导向装置(flow diverter, FD)的出现,让临床医生和患者有了更多的治疗选择。FD是在颅内动脉瘤血流动力学研究基础上发展起来的一种血流重塑装置,其出现改变了颅内动脉瘤血管内治疗的理念,将以往的囊内栓塞转向载瘤动脉的重建。由于其较普通颅内支架拥有更细密的网格以及更强的血流导向能力,所以更有利于动脉内皮细胞的移行生长及瘤颈覆盖闭合^[6]。通过FD的高金属覆盖率和网孔率设计,对局部血流进行重塑,将载瘤动脉向动脉瘤内的冲击血流导向远端正常血管内,从而减少局部血流对动脉瘤的冲击,使动脉瘤内的血流动力学情况得以改善,最

终在动脉瘤内形成血栓,进而实现动脉瘤的闭塞^[7]。

然而,由于FD近年来才大规模应用于临床,其治疗颅内动脉瘤的适应证、围手术期管理、手术操作技术以及并发症的预防与处理等问题在临床上尚存较大争议。临床医生在该装置的使用上多依据个人经验,国内业界尚无关于FD治疗颅内动脉瘤的指南或共识,目前亟需制定行业性共识来规范和指导FD在我国颅内动脉瘤中的应用。因此,由中国医师协会神经介入专业委员会出血性脑血管病神经介入专业委员会(学组)、中国医师协会神经外科医师分会神经介入专业委员会、中国医师协会介入医师分会神经介入专业委员会以及Pipeline治疗动脉瘤中国上市后多中心回顾性研究(post market multi-center retrospective research on embolization of intracranial aneurysms with Pipeline embolization device in China, PLUS)课题组组织全国知名专家共同撰写了本共识,旨在为FD的临床应用提供参考,规范该装置的适应证及使用流程,提高治疗效果。

二、分类

当前,国内外常用的血流导向装置主要有以下几种:Pipeline血流导向栓塞装置(Pipeline embolization device, PED)(美国Medtronic公司)、Tubridge血管重建装置[中国微创神通医疗科技(上海)公司]、SFD(法国Balt Extrusion公司)、FRED(美国Microvention公司)和最新报道的p64(德国Phenox GmbH公司)、BRAVO(美国Johnson & Johnson公司)、Surpass(美国

Stryker Neurovascular 公司)等。当前国内上市可使用的血流导向装置有二代 Pipeline flex 血流导向栓塞装置和 Tubridge 血管重建装置,本共识也主要针对这两种装置的使用进行规范描述。

PED 由 48 根合金丝编织而成,其中 36 根钴铬镍合金丝提供器械贴壁的径向支撑力,12 根铂钨合金丝使器械在 X 射线下通体显影,PED 的金属覆盖率为 30% ~ 35%,网孔大小为 0.02 ~ 0.05 mm²。PED 由输送导丝及植入物部分构成。新的二代 Pipeline flex 在一代 PED 的基础上对输送系统进行了重新设计,使植入物头端释放更加方便,且实现 95% 可回收,而植入物的材料形状和设计均未改变。目前,PED 在全球应用已经超过 10 万例,相关研究的中英文文献有 600 余篇,其动脉瘤总体的 1 年完全闭塞率可以达到 85.5%,总体并发症发生率为 7.1%^[8]。所以,本共识中引证的文献数据及专家经验也以 PED 为多。国际上关于 PED 的多中心大样本研究主要有 PITA 研究(Pipeline for the intracranial treatment of aneurysms)、IntrePED 研究(international retrospective study of the Pipeline embolization device)、PUFs 研究(the Pipeline for uncoilable or failed aneurysms study)、ASPIRe 研究(the aneurysm study of Pipeline in an observational registry)及 PREMIER 研究(pro prospective study on embolization of intracranial aneurysms with the Pipeline device)。PITA 研究为最早进行的多中心、前瞻性临床研究,共纳入 31 例 PED 治疗的未破裂宽颈动脉瘤患者,6 个月的完全闭塞率为 93%^[9]。IntrePED 研究共纳入 793 例患者的 906 个动脉瘤,其总体的并发症发生率和致死率为 8.4%,其中以后循环组最高,达到 16.4%;颈内动脉组最低,为 4.8%^[10]。PUFs 研究共纳入 107 例动脉瘤患者,5 年随访结果的完全闭塞率:6 个月为 73.6%,1 年为 86.8%,3 年为 93.4% 及 5 年为 95.2%^[11]。ASPIRe 研究为前瞻性随访研究,103 例患者在治疗后 8 个月随访时的完全闭塞率为 75%^[12]。为了验证 PED 在颅内中、小型动脉瘤中的治疗效果,PREMIER 研究(前瞻性、多中心、单臂)纳入 141 例小型和中型动脉瘤,动脉瘤的大小为(5.00 ± 1.92)mm,其中 84.4% 的动脉瘤直径 < 7 mm。138 例患者进行了 1 年的颅内动脉造影随访,其中 113 例(81.9%)动脉瘤完全闭塞,残死率仅为 2.1%,显示了 PED 在中、小型动脉瘤中的良好疗效^[13]。

Tubridge 是我国自主研发的一种血管重建装置,由 48 根或 64 根镍钛合金丝编织制成,其中有

2 根螺旋式显影丝增加其可视性。在 Tubridge 装置的输送过程中,可以通过导丝与微导管的配合,使动脉瘤颈处的金属覆盖率提高至 30% 以上,而在其他位置的金属覆盖率为 12% ~ 20%^[14]。作为新上市的中国自主研发的血管重建装置,有关 Tubridge 的中外文献报道约 40 余篇。其中 PARAT 研究(parent artery reconstruction for large or giant cerebral aneurysms using the Tubridge flow diverter)为多中心、随机对照研究,共纳入 82 例采用 Tubridge 治疗的动脉瘤患者,6 个月的动脉瘤完全闭塞率为 75.34%,出血性卒中和缺血性卒中的并发症发生率分别为 6.1%、9.76%^[15]。另一项单中心的研究纳入了 74 例采用 Tubridge 治疗的患者,最长随访时间 > 18 个月,动脉瘤的总体闭塞率为 73.6%,仅 1 例患者出现脉络膜前动脉闭塞导致的缺血性并发症^[16]。

三、FD 的手术适应证

(一)大型及巨大型动脉瘤

2011 年,基于 PUFs 研究的结果,PED 获得美国食品药品监督管理局(food and drug administration, FDA)批准(https://www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf10/P100018B.pdf),将 Pipeline 的适应证明确表述为:(1)成人 ≥ 22 岁。(2)颈内动脉岩段至垂体上动脉开口处近端的大型或巨大型宽颈动脉瘤。日本的 Oishi 等^[17]按照此标准适应证,应用 PED 治疗 100 例颈内动脉 C2 ~ C4 段大型及巨大型动脉瘤,随访时间为(10.2 ± 5.6)个月,总体治愈率为 69.2%,缺血性并发症的发生率为 2.1%,出血性并发症的发生率为 4.3%。Zanaty 等^[18]研究了 167 例海绵窦动脉瘤,动脉瘤的平均大小为 15.1 mm,对比了不同治疗方案的有效性,其中包括 PED 治疗 59 例,单纯弹簧圈栓塞 22 例,支架辅助弹簧圈栓塞 71 例及颈内动脉闭塞术 15 例。动脉瘤的完全闭塞率:PED 治疗为 81.6%,弹簧圈栓塞为 27.27%,支架辅助弹簧圈栓塞为 42.25%,颈内动脉闭塞术为 73.33%。表明 PED 对于颈内动脉大型及巨大型动脉瘤的闭塞率较高,相比于其他方法更有优势。

(二)破裂动脉瘤

应用 FD 治疗颅内破裂动脉瘤的研究也有文献报道,其并发症的发生率约为 12%,高于 FD 治疗未破裂动脉瘤的并发症发生率,且大都发生在围手术期和术后早期^[19]。Mokin 等^[20]报道 PED 治疗的 43 个血泡样动脉瘤,1 例术中发生再次破裂出血;在 4 个月的造影随访时,32 例动脉瘤中的 28 例(87.5%)显示完全闭塞,3 例(9.4%)显示动脉瘤

内血流减慢。Lin 等^[21]报道 PED 治疗的 26 例复杂破裂动脉瘤中,包括 8 例夹层动脉瘤、8 例血泡样动脉瘤、6 例梭形动脉瘤及 4 例囊状动脉瘤,平均随访时间为 5.9 个月,其中 18 例(78.3%)动脉瘤完全闭塞,3 例(13%)动脉瘤瘤颈残余,2 例(8.7%)动脉瘤瘤体残余。Chalouhi 等^[22]报道 PED 治疗 20 例破裂动脉瘤的经验,仅 1 例(5%)发生并发症并导致死亡,远期动脉瘤的完全闭塞率为 80%。此组患者使用 PED 结合弹簧圈的比例为 20%,其余病例均为单纯 PED 治疗。Brinjikji 等^[23]研究了一组 31 例复杂的大型及巨大型破裂动脉瘤患者,所有患者均行急诊动脉瘤弹簧圈栓塞,其中 27 例在神经系统症状平稳后行二期 PED 治疗,在随后的随访过程中 18 例患者的动脉瘤完全闭塞或近全闭塞,无一例患者发生栓塞后再出血。该研究总结认为,对于复杂的大型及巨大型破裂动脉瘤,先一期行弹簧圈栓塞再二期行 PED 治疗安全、有效。

(三)小型及中型动脉瘤

基于 PREMIER 研究的结果,2018 年美国 FDA 将 Pipeline flex 的适应证扩展至以下范围(<https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfpma/pma.cfm?id=P100018S015>):(1)远至颈内动脉末端。(2)成人 ≥ 22 岁。(3)小型及中型的宽颈、囊状或梭形动脉瘤(瘤颈宽度 ≥ 4 mm 或体颈比 < 2)。(4)载瘤动脉直径 ≥ 2 mm、 ≤ 5 mm。小型及中型动脉瘤指的是动脉瘤最大径 ≤ 10 mm 的宽颈动脉瘤,是临床比较常见的动脉瘤类型,其血管内治疗方式往往需要支架辅助栓塞。IntrePED 研究通过细化动脉瘤的大小,以 10 mm 为界,发现使用 PED 治疗的小型动脉瘤的总体并发症发生率为 2.8%,远远低于大型及巨大型动脉瘤的 5% 和 14.5%。结果表明,PED 治疗与传统支架辅助弹簧圈栓塞相比,动脉瘤的完全闭塞率二者一致;而在并发症方面,PED 避免了动脉瘤内的填充或致密填塞,降低了术中动脉瘤破裂的发生率,缺血性并发症的发生率也并不高于传统弹簧圈栓塞治疗^[10]。Chalouhi 等^[24]报道了 100 例行 PED 治疗的直径 < 7 mm 的动脉瘤患者,远期完全闭塞率为 72%,并发症的发生率为 3%。Griessenauer 等^[25]组织的美国 5 家大型中心的多中心前瞻性队列研究,纳入 2009—2015 年采用 PED 治疗的 149 个颅内小型动脉瘤(动脉瘤最大径 ≤ 7 mm),其中 130 例(87.2%)为颈内动脉系统动脉瘤(包括颈内动脉眼动脉段、海绵窦段、后交通动脉段),115 例(77.2%)为囊状动脉瘤,25 例(16.8%)为

复发动脉瘤,43 例(28.9%)为同时治疗的多发动脉瘤。105 例患者的随访时间超过 6 个月,完全及近全闭塞率为 87%;随访中,96% 的患者的改良 Rankin 量表评分(mRS) ≤ 2 分;无死亡病例。

(四)后循环动脉瘤

后循环动脉瘤由于累及穿支较多、性质多变(夹层、梭形、延长扩张等)、结构复杂等原因,导致传统治疗方式的并发症发生率高且治愈率低。对仅仅累及椎动脉的小型动脉瘤,PED 显示了良好的治疗效果,且永久性并发症发生率很低。Fang 等^[26]使用 Tubridge 治疗 6 例椎动脉巨大型梭形动脉瘤,平均造影随访时间为 26 个月,其中 5 例动脉瘤完全闭塞,1 例动脉瘤近全闭塞,1 例发生支架内狭窄。最大的一项 PED 治疗后循环动脉瘤的研究来自于美国 Griessenauer 等^[27]的研究,共纳入 8 个中心的 129 例患者的 131 个后循环动脉瘤,其中包括 29 例夹层动脉瘤、53 例梭形动脉瘤及 49 例囊状动脉瘤,平均随访时间为 11 个月,完全闭塞率和近全闭塞率达到 78.1%;该研究发现夹层动脉瘤的完全闭塞率最高且并发症率最低,而梭形动脉瘤的完全闭塞率最低且并发症率最高。动脉瘤的形态和大小是影响治疗效果的关键因素,Siddiqui 等^[28]使用 FD 治疗的 7 例后循环动脉瘤中,4 例死亡,1 例 mRS 为 5 分。该研究将这组患者治疗效果差的原因归结为:均为大型或巨大型动脉瘤,且这些动脉瘤多为累及基底动脉的延长扩张型动脉瘤。IntrePED 亚组分析中的后循环动脉瘤治疗组,1 年随访的总体残死率为 14.9%,结果也提示与致死、致残性并发症密切相关的是动脉瘤的大小和梭形动脉瘤,而梭形动脉瘤也多是累及基底动脉的延长扩张型动脉瘤^[10]。

对于基底动脉动脉瘤的 FD 治疗,国内外相关研究较少,多数为个案报道。Dmytriw 等^[29]研究了 2009—2016 年使用 FD 治疗的 14 例基底动脉动脉瘤患者,其中 9 例采用弹簧圈结合 FD 治疗,平均随访时间为 6 个月,完全及近全闭塞率为 68.8%,未闭塞的病例均是单纯应用 FD 治疗的动脉瘤。Burkhardt 等^[30]使用 PED 治疗 1 例基底动脉顶端动脉瘤,取得了良好的治疗效果,术后 6 个月复查时动脉瘤完全闭塞。但 Meta 分析结果显示,FD 用于后循环动脉瘤治疗的并发症发生率为 14.7%,明显高于前循环动脉瘤的 7.6%^[31]。因此,对于累及基底动脉、大型的后循环动脉瘤,选择 FD 治疗应更加谨慎。

(五)FD 在 Willis 环远端动脉瘤中的应用

美国 FDA 基于 PUFs、PREMIER 等研究的结

果,确定了 PED 在颈内动脉动脉瘤中的使用,但与传统支架所不同的是 PED 具有更高的金属覆盖率。因此,在 Willis 环远端动脉瘤的治疗中依然存在技术挑战,而且内膜增生或炎症反应是否会增加血管的闭塞或狭窄的发生率等问题,目前尚无定论。因此,国内外学者也在探索 FD 在 Willis 环远端动脉瘤治疗中的应用效果,结果表明 FD 置入与传统介入栓塞和手术夹闭的治疗方式相比,其完全闭塞率相似,但并发症发生率相对较高^[32]。一项 FD 治疗 244 例大脑中动脉动脉瘤的 Meta 分析显示,动脉瘤完全及近全闭塞率为 78.7%,但治疗相关性并发症的发生率达 20.7%,病死率为 2.0%;覆盖分支血管的闭塞率接近 10%,并有 26% 的患者出现血流缓慢,其中症状性患者占 5.0%^[33]。Yavuz 等^[34]报道的一组 25 例大脑中动脉的宽颈动脉瘤患者中,大脑中动脉的分支血管或远端血管均由动脉瘤上发出,因此认为常规介入栓塞和手术夹闭的风险及难度大,而选用 PED 置入的治疗方式。术后最长造影随访时间为 18 个月,21 例(84%)动脉瘤完全闭塞;分支和远端血管有 12 例(57%)通畅,6 例(28%)血流速度减慢,3 例(14%)出现无症状性闭塞。Lin 等^[35]报道的一组美国多中心收治的 28 例前循环远端动脉瘤(包括大脑中动脉、大脑前动脉、前交通动脉动脉瘤),其中 11 例为栓塞或夹闭术后复发的动脉瘤。28 例动脉瘤患者中,27 例(96.4%)PED 成功置入;平均造影随访时间为 7.7 个月,动脉瘤完全闭塞 21 例(77.8%),穿支动脉闭塞 3 例(10.7%),支架内血栓形成 2 例(7.1%),但症状轻微无需进一步治疗。Martínez-Galdámez 等^[36]采用 PED 治疗 25 例 Willis 环远端动脉瘤患者,包括大脑中动脉、大脑前动脉、前交通动脉和大脑后动脉动脉瘤。在治疗后 6 个月造影随访时,其中 14 例(64%)动脉瘤完全闭塞,8 例(36%)瘤内血流明显减慢。14 例远端血管直接由动脉瘤上发出的患者中,11 例(79%)远端血管通畅,2 例(14%)远端血管血流速度减慢,1 例(7%)远端血管闭塞;有 6 例(27%)出现了支架内血栓,但仅 1 例为症状性患者。

(六) 年龄因素

美国 FDA 批准的 PED 适应证中,规定年龄为 ≥ 22 岁的成年患者,但在临床实践中 PED 在儿童患者中的应用也有相应的报道。儿童颅内动脉瘤比较少见,仅占有颅内动脉瘤的 5%,且多见为梭形动脉瘤、夹层动脉瘤、巨大型动脉瘤、感染性动脉瘤等^[37];其中部分病例为 FD 治疗的确切适应证,但由

于年龄因素的限制,相关的研究仍以个案报道为主,其中年龄最小的患儿仅有 2 岁^[38]。Navarro 等^[39]使用 PED 治疗 3 例颅内动脉瘤患儿,最小年龄为 4 岁,取得了良好的治疗效果。Barburuglu 和 Arat^[40]报道 PED 在 7 例儿童患者中的应用,病变包括颅内动脉瘤和颈内动脉海绵窦瘘,复查除 1 例无症状性血管闭塞外,其余病变均治愈,其中年龄最小的患儿为 3 岁。儿童使用 FD 主要有两个特殊关注点,第一点是考虑血管直径会随着年龄而增加。He 等^[41]研究了 54 例儿童血管的发育特点,结果提示 5 岁以下患儿的血管直径快速增长,5 岁时的血管直径达到成年时的 94%,并呈缓慢生长。第二点是关于儿童的抗血小板聚集药物治疗方案,目前尚无标准规范,可能需要按照公斤体重调整并行相关血小板功能检测。

推荐意见:(1)对于颈内动脉大型及巨大型动脉瘤,FD 相对于其他治疗方法具有比较明显的优势,其安全性和有效性已经得到各项临床试验的证实。(2)对于颈内动脉宽颈、多发的、小型及中型动脉瘤(< 10 mm),FD 有良好的治疗效果;特别是对于介入栓塞和手术夹闭后复发的,或者位置邻近的多发串联动脉瘤,FD 治疗可作为优选方案。(3)复杂的后循环动脉瘤是传统介入栓塞和手术夹闭的难点,FD 的出现为临床医生提供了一个新的选项,临床实践中可以根据具体情况选用 FD 治疗。但是,对于大型和巨大型后循环动脉瘤、梭形动脉瘤、病变累及基底动脉或基底动脉本身的延长扩张,其安全性和有效性还需进一步探索,治疗选择应更加慎重。(4)对于 Willis 环远端的宽颈动脉瘤,特别是动脉瘤累及分支或远端动脉,传统介入栓塞和手术夹闭风险及难度较大,FD 可作为一种尚有争议且需进一步验证的治疗方式,但应警惕其潜在并发症的风险。(5)破裂动脉瘤和血泡样动脉瘤有文献报道的成功经验,可以慎重选用 FD 治疗。如果动脉瘤形态和条件允许,急性期先行弹簧圈填塞,二期行 FD 置入也是较好的治疗方案。(6)对于儿童患者的 FD 治疗,建议慎重选择,最低年龄应 ≥ 5 岁,其安全性和有效性有待于进一步的更大宗病例研究。

四、围手术期管理

充分的抗血小板聚集药物治疗是降低 FD 治疗后出现缺血性并发症的有力措施。目前,FD 治疗后的抗血小板聚集药物治疗方案尚无统一标准,各临床中心报道的用药方案也各有差别。对于未破裂动脉瘤,国外文献报道的抗血小板聚集药物治疗方案为术前口服阿司匹林(300 ~ 325 mg)持续治疗 2 ~

14 d,联合氯吡格雷(75 mg)持续治疗 3~10 d;术后继续行双重抗血小板治疗(dual antiplatelet therapy, DAPT),阿司匹林持续治疗 6 个月至终身,氯吡格雷持续治疗 3~12 个月不等^[42-43]。国内各中心 FD 治疗围手术期的抗血小板聚集治疗方案为:术前口服阿司匹林(100~300 mg)联合氯吡格雷(75 mg)持续治疗 3~5 d;术后口服阿司匹林(100~300 mg)联合氯吡格雷(75 mg)持续治疗 3~6 个月,然后改为单一抗血小板聚集药物治疗 1 年至终身。或者术后口服阿司匹林(300 mg)联合氯吡格雷(75 mg)持续治疗 6 周;术后 6 周至 3 个月为阿司匹林(100 mg)联合氯吡格雷(75 mg)治疗;术后 3 个月以上改为单一抗血小板聚集药物持续治疗^[44-47]。

Skukalek 等^[42]通过 Meta 分析研究了 19 个单中心及多中心的资料,总共 1 110 例颅内动脉瘤患者的抗血小板聚集药物治疗结果,发现 PED 术后大剂量阿司匹林(≥ 300 mg)治疗相比于小剂量治疗(≤ 160 mg),其血栓事件的发生率更低。PED 术后氯吡格雷治疗 < 6 个月会增加血栓风险;负荷剂量阿司匹林(300~650 mg)联合氯吡格雷治疗会增加出血事件的风险。Saber 等^[48]总结分析了 21 个研究中心的 2 002 例患者的抗血小板治疗方案及不良事件,发现小剂量阿司匹林(≤ 150 mg)的抗血小板聚集治疗与缺血性并发症相关;术后 < 6 个月的氯吡格雷治疗与缺血性并发症相关。大剂量阿司匹林(≥ 150 mg)联合氯吡格雷持续治疗 ≥ 6 个月,能显著减少术后缺血事件的发生率,而不增加出血的风险。Tonetti 等^[49]研究了 FD 围手术期不同抗血小板聚集药物的治疗效果,认为 FD 治疗后需要至少 6 个月 DAPT,普拉格雷和替格瑞洛可能是降低抗血小板药物抵抗发生率的替代品,而低反应性或高反应性患者的 DAPT 方案目前尚无更佳的调整方法。对抗血小板药物抵抗和过早停用抗血小板聚集药物的患者更容易发生支架内血栓事件^[50]。

目前,比较常用的血小板功能检测手段包括光学透射比浊法(light transmittance aggregometry, LTA)、血栓弹力图(thromboelastogram, TEG)和 Verify Now 抗血小板检测等。其中 LTA 被认为是评价血小板功能的“金标准”,然而其存在检测费时、干扰因素较多、对操作者技术要求较高等局限性,不同中心难以实现标准化流程^[51]。TEG 可以反映血小板的聚集功能,可模拟血小板在凝血全象中的作用,更加符合生理过程;但 TEG 受体温、仪器质控、人员操作的影响较大,因此其测量值可能存在较大

差异^[52]。Verify Now 抗血小板检测为全血床旁快速检测,其操作流程简单,测量时间短,可重复性强,避免了样本在测量过程中造成的偏倚,可实现不同中心检测的标准化,其在 FD 围手术期血小板检测中显示出良好的应用前景^[53]。此外,细胞色素 CYP2C19 基因多态性的检测也被认为是判断抗血小板聚集药物抵抗的一种方法,该基因*2 位点和*3 位点缺失会使药物的有效激活酶减少,从而使得抗血小板聚集药物作用降低^[54]。血小板检测对于指导 FD 治疗围手术期的抗血小板治疗方案虽存在争议,但仍有一定的指导意义。Adeeb 等^[55]通过 LTA 检测方法,分析了 95 例采用 PED 治疗患者的围手术期并发症与血小板功能检测之间的关系,发现当二磷酸腺苷(adenosine diphosphate, ADP)诱导的血小板聚集率 $\geq 50\%$ 时,患者的缺血性并发症明显增加,他们认为可以将 ADP 诱导的 LTA 值为 50% 定义为 PED 治疗患者氯吡格雷抵抗的临界值。McTaggart 等^[56]前瞻性研究了 31 例采用 PED 治疗的动脉瘤患者,根据 TEG 的检测结果调整抗血小板治疗方案,其中 35% 的患者需要进行抗血小板治疗方案的调整,其治疗结果令人满意,未发生缺血和出血事件。Tan 等^[57]通过 Verify Now 方法检测 74 例采用 PED 治疗患者的术前 P2Y12 反应性单位(P2Y12 reaction unit, PRU)的数值发现,当 PRU 值 > 208 时可以预测术后血栓事件的发生。Delgado 等^[58]通过 Verify Now POCT 方法检测了 48 例采用 PED 治疗患者围手术期的 PRU 值,发现当术前 PRU < 60 或者 > 240 时,可以预测患者发生围手术期出血和血栓事件。

推荐意见:目前,针对采用 FD 治疗的未破裂颅内动脉瘤患者,围手术期的抗血小板聚集药物治疗方案在国内外尚无明确标准,因此基于本共识专家的经验 and 国内外学者的研究提出以下建议:(1)术前抗血小板聚集治疗方案的推荐剂量为阿司匹林(100~300 mg)联合氯吡格雷(75 mg)治疗至少 3~5 d。(2)术后的治疗方案为阿司匹林(100~300 mg)联合氯吡格雷(75 mg)持续治疗 3~6 个月以上;如无缺血症状发生且复查支架内无狭窄发生,可改为单一抗血小板聚集药物,并持续治疗 12 个月以上。(3)尽管目前对于血小板检测尚存在争议,但其对调整抗血小板聚集治疗方案有一定的参考价值,可以将其作为指导抗血小板聚集治疗方案的辅助手段;对于血小板检测提示对抗血小板聚集药物抵抗的患者,建议改为其他的抗血小板聚集药物(如普拉格雷、替格瑞洛等)。

五、血管内治疗的方式及技术要点

(一) 单纯血流导向装置治疗

FD 的设计理念是通过更高的支架网孔率以减少动脉瘤瘤体与载瘤动脉之间的血液流动, 引发动脉瘤内血栓形成, 促进动脉瘤颈处内膜增生, 从而达到载瘤动脉重建的作用, 最终实现动脉瘤治愈的目标。合适的 FD 型号是保证动脉瘤闭塞的重要因素, 只有置入的 FD 与血管直径匹配, 才能保证支架与血管壁的紧密贴合。因此, 准确地测量载瘤动脉远、近端直径是 FD 治疗成功的关键。支架直径选择过小会导致支架贴壁不良、短缩、移位甚至不能完全覆盖瘤颈; 支架直径选择过大可能导致支架远端打开困难, 支架拉伸网孔变大, 并且增加支架内血栓发生的风险。对于载瘤动脉远、近端直径差别较大 ($>2\text{ mm}$) 的患者, 应考虑采用桥接技术, 以保证支架的顺利打开, 并且在瘤颈处重叠可获得更高的金属覆盖率。对于动脉瘤瘤颈较长的病例, 选择较长的大直径支架, 利用其拉伸的特点, 以达到瘤颈完全覆盖的目的^[46]。应用 FD 治疗颅内动脉瘤, 血管分支开口不可避免会被覆盖, 如眼动脉、后交通动脉、脉络膜前动脉等。在动物实验中观察到, FD 覆盖的血管分支开口处往往没有新生内皮细胞的覆盖。临床研究中同样观察到, 覆盖以上这些重要分支导致的缺血事件发生率也不高。Wu 等^[59]对 PED 覆盖 173 个分支血管进行随访研究, 共有 24 个 (13.9%) 发生闭塞, 29 个 (16.8%) 出现血流速度减慢; 5 例累及眼动脉的患者出现视力模糊, 1 例累及大脑前动脉的患者出现头痛; 对于分支血管闭塞的患者, 并未出现神经系统功能障碍及缺血症状。Raz 等^[60]观察了被 PED 覆盖的 29 例脉络膜前动脉患者, 随访中发现 1 例发生闭塞, 28 例通畅, 而闭塞的 1 例为无症状性。应用于后循环动脉瘤治疗的 PED, 有时需要覆盖小脑后下动脉 (PICA)。Mazur 等^[61]治疗了 11 例椎动脉动脉瘤患者, PED 均覆盖了 PICA, 其中 8 例患者进行了造影随访, 在随访中 PICA 均保持通畅^[61]。PARAT 研究报道 Tubridge 治疗的 73 个颅内大型及巨大型动脉瘤, 共覆盖 104 个分支血管, 其中 3 个分支血管发生闭塞, 分支血管的总体闭塞率为 2.9% (3/104)^[62]。因此, 目前 FD 在临床中的使用方法是尽量减少分支或穿支血管的覆盖, 若治疗过程中必须进行覆盖则完全可以覆盖, 因为发生缺血的风险相对较低。

(二) 血流导向装置结合弹簧圈治疗

早期 FD 的治疗方式是仅行单纯 FD 置入, 而不进行弹簧圈的填塞。随着 FD 应用的病例越来越多, 治疗后的动脉瘤破裂出血陆续有报道。因此, 多数研

究报道在颅内大型和巨大型动脉瘤的治疗中, 选择 FD 结合弹簧圈的治疗方式, 只需进行疏松的弹簧圈填塞就可达到阻挡血流冲击以及加快动脉瘤内血栓形成的目的, 从而降低动脉瘤的破裂风险^[63]。

Park 等^[64]对 IntrePED 研究中单纯 PED 置入治疗及 PED 结合弹簧圈治疗的两组患者进行比较, 在 797 例单纯行 PED 置入治疗的动脉瘤患者中, 5 例 (0.7%) 发生自发破裂, 术后 54 例 (7.8%) 出现并发症; 109 例 PED 结合弹簧圈治疗的动脉瘤患者中, 无一例发生破裂, 术后出现并发症 13 例 (12.5%), 但两组患者的动脉瘤破裂率及并发症发生率的差异均无统计学意义。在大型和巨大型动脉瘤的治疗策略中, 国内外的大多数学者还是主张 FD 结合弹簧圈治疗的方式, 其主要目的有两个: 一是促进瘤内尽快形成血栓; 二是平衡瘤顶处的壁面切应力, 以减少动脉瘤破裂出血的风险^[65]。另外, 在大型和巨大型动脉瘤的治疗中, 弹簧圈可以为 FD 提供支撑作用, 防止 FD 脱入动脉瘤腔内^[66]。Lin 等^[67]报道了一组病例, 其中 FD 结合弹簧治疗组相比于单纯 FD 置入治疗组, 支架的短缩和移位比例明显更低; 而且在 7 个月的随访中, FD 结合弹簧治疗组的完全闭塞率 (93%) 明显高于单纯 FD 置入治疗组 (75%)。

对于何种情况下选用 FD 结合弹簧圈的治疗方式, 国内学者的研究认为有以下几种情况可以考虑: (1) 动脉瘤瘤颈累及载瘤动脉较长, 且流入道与流出道成角较大, 微导丝及微导管难以跨过瘤颈超选至远端, 或预计 FD 释放后因无支撑而有短缩、移位的风险者。(2) 造影可见动脉瘤瘤颈处有快速的血流冲击, 预计单纯行 FD 置入, 其复发及术后出血风险较高者。(3) 动脉瘤近期产生新发压迫症状或症状较前加重, 高分辨率磁共振提示瘤壁有明显强化, 考虑动脉瘤有生长趋势者。(4) 多发动脉瘤或囊状动脉瘤合并载瘤动脉梭形扩张者^[68]。关于 FD 结合弹簧圈治疗后是否会促进动脉瘤的体积缩小, 进而减轻占位效应, 已有研究证明, FD 结合弹簧圈的治疗方式在其随访过程中, 磁共振可显示出动脉瘤体积较前缩小^[69]。Berge 等^[70]在比较不同 FD 治疗方式疗效的研究中发现, 单纯 FD 置入治疗组动脉瘤的体积减少或消失的比例为 96%; FD 结合弹簧圈治疗组的动脉瘤体积减少或消失的比例为 26%。

推荐意见: (1) 颅内囊性动脉瘤采用单纯 FD 置入治疗有比较满意的闭塞率, 对应覆盖分支或穿支血管的缺血并发症的发生率也较低, 但对于累及基底动脉的情况应更加慎重。(2) 对于颅内大型及巨

大型动脉瘤,若瘤颈处有快速血流冲击,建议采用 FD 结合弹簧圈的治疗方式,以促进动脉瘤闭塞和减少出血的风险。

六、随访及影像学评估

与动脉瘤弹簧圈栓塞的治疗方式不同,FD 置入治疗的主要目标是重建载瘤动脉。因此,瘤颈的覆盖情况、穿支血管的影响和动脉瘤延迟闭塞程度成为重要的评价指标,需要对 FD 置入治疗的动脉瘤使用不同的栓塞程度分级方法。O'Kelly 等^[71]提出了 FD 治疗动脉瘤随访栓塞程度的分级标准,称之为 O'Kelly-Marotta (OKM) 分级评估:A 级为瘤体完全显影 (>95%);B 级为瘤体部分显影 (5%~95%);C 级为瘤颈残余 (<5%);D 级为完全闭塞 (0%)。Kamran 等^[72]也提出了 FD 治疗囊状动脉瘤和梭形动脉瘤的造影结果评价方法。他将 FD 治疗动脉瘤的栓塞程度分为 5 级,同时把 FD 治疗后载瘤动脉的状态分成 3 级,并对囊状、梭形动脉瘤两种情况分别计分。FD 治疗囊状动脉瘤的分级标准:0 级为瘤内血流无影响;1 级为对比剂充盈体积大于治疗前动脉瘤体积的 50%;2 级为对比剂充盈体积小于治疗前动脉瘤体积的 50%;3 级为对比剂的充盈仅限于瘤颈区域,并且不超过瘤颈的宽度;4 级为动脉瘤完全栓塞,无对比剂充盈。FD 治疗梭形动脉瘤的分级标准:0 级为瘤内血流无变化;1 级为对比剂充盈瘤内的宽度和最长径均大于治疗前的 50%;2 级为对比剂充盈瘤内宽度和最长径中的任一个小于治疗前的 50%;3 级为对比剂充盈瘤内的宽度和最长径均小于治疗前的 50%;4 级为动脉瘤完全栓塞,无对比剂充盈。载瘤动脉的状态分为载瘤动脉通畅、载瘤动脉狭窄以及载瘤动脉闭塞。O'Kelly 和 Kamran 的分级方法填补了 FD 治疗动脉瘤分级的空白,是目前的一大进步。

对于 FD 治疗后随访时间的长短,目前国内外学者尚无定论。Chalouhi 等^[73]对 146 例采用 PED 治疗的动脉瘤患者进行了随访研究,平均随访时间为 27 个月,发现治疗后 12 个月时动脉瘤的完全闭塞率为 90.4%,动脉瘤完全闭塞后的复发率为 0%。因此认为,对于 PED 治疗后造影证实完全闭塞的动脉瘤患者,不建议再次行有创性的血管造影复查。Kallmes 等^[8]总结了 PUFs 研究和 ASPIRe 研究 6 个月和 1 年的造影随访结果,其完全闭塞率分别为 75% (111/148) 和 85.5% (94/110),1 年随访的完全闭塞率较 6 个月早期随访时有明显提高。Briganti 等^[74]的研究发现, PED 治疗后的动脉瘤完全闭塞主要发生在

术后 3~18 个月。Beckske 等^[11]报道 PUFs 研究的随访结果,其 1 年、3 年和 5 年的动脉瘤完全闭塞率分别为 86.8% (79/91)、93.4% (71/76) 和 95.2% (60/63),其中 5 例未闭塞的动脉瘤患者接受了二次治疗。该研究也认为对于 PED 术后动脉瘤完全闭塞的患者无需再行影像学随访;但对于早期影像学随访未完全闭塞的患者,在更长期的随访过程中,动脉瘤完全闭塞率仍呈增长趋势,因此建议 PED 治疗后其随访时间应更长,并可将随访间隔时间延长至 1 年。

推荐意见:(1)患者可在 FD 治疗后的早期(3~6 个月)、中期(12~24 个月)和远期(24 个月以上)进行临床和影像学随访,但考虑到绝大部分动脉瘤的完全闭塞发生在 12 个月以内,因此最重要的有创性造影随访时间应在治疗后的第 12 个月。(2)FD 治疗后造影已经证实完全闭塞的动脉瘤,一般认为动脉瘤再通的可能性很小,故再次行有创性造影随访的诊断意义不大;如果复查造影证实动脉瘤闭塞,但有缺血症状或动脉瘤占位效应明显,还应后续行无创性的磁共振成像 [MRI、磁共振血管成像 (MRA)] 或 CT [CT 平扫、CT 血管成像 (CTA)] 检查,以明确占位效应和血管的变化情况。(3)治疗后 12 个月随访时,造影显示动脉瘤仍未完全闭塞的患者,应将造影、CTA、MRA 等影像学随访检查延长至治疗后 24 个月;对于治疗后 24 个月随访时仍未完全闭塞的动脉瘤,可视具体情况考虑再次治疗或继续随访、观察。

七、并发症的防治

尽管 FD 显示出较好的应用前景,但技术的革新需要循序渐进的过程。当前 FD 的使用仍然存在一些不可忽略的并发症,主要包括:技术相关性并发症、术中或术后动脉瘤破裂出血、脑实质内出血、早期支架内血栓形成、迟发性支架内狭窄以及支架所覆盖的分支或穿支闭塞等。

(一) 技术并发症

FD 不同于以往的激光雕刻支架,其释放往往需要微导管“推”和“拉”的配合(即微导管与支架推送之间的适度相对张力),以保证其顺利释放和良好贴壁,而这需要操作者对 FD 性能的充分掌握。Byrne 等^[75]报道的 FD 多中心研究中,出现了 29% 的技术相关并发症,其中 17% 为 FD 打开不良,并导致 7 例载瘤动脉闭塞。因此,FD 释放后需行 X 线透视检查,以确认支架是否贴壁完全或扭结。若存在扭结或未完全贴壁,可选择重新导入输送导管、“J”型导丝按摩、球囊扩张等技术,以及更换更加合

适规格的 FD 等措施。FD 结合弹簧圈治疗动脉瘤的过程中,由于弹簧圈有较大的伪影,瘤颈处载瘤动脉的形态可能难以准确显示。术后即刻 X 线透视是判断 FD 贴壁的重要方法,随着造影设备的不断改进,其附带的锥形束 CT 功能可以较清晰地显示 FD 的轮廓,并帮助准确判断 FD 的贴壁情况和动脉瘤的栓塞程度^[76]。Lin 等^[77]根据颈内动脉海绵窦段的不同弯曲程度,将其分为 4 种类型,发现颈内动脉的不同弯曲程度与手术时间、FD 能否释放成功、围手术期并发症的发生率等显著相关。Szikora 等^[78]报道了 41 枚 PED 治疗 29 个宽颈动脉瘤,其中 2 枚 PED 因颈内动脉过于弯曲无法释放,1 枚释放不完全。Lubicz 等^[79]报道 FD 治疗的 34 个梭形及宽颈动脉瘤,其中 3 个因输送 FD 时阻力太大,FD 无法通过载瘤动脉而改用传统方式治疗;1 个颈内动脉眼动脉段巨大囊状动脉瘤术后 13 d FD 移位脱入动脉瘤内,导致蛛网膜下腔出血而死亡。另外,如果载瘤动脉先前放置过其他支架,也会影响 FD 的贴壁效果和血流导向作用。Lylyk 等^[80]曾报道, PED 治疗后 12 个月随访时仍未闭塞的动脉瘤中,均为先前放置过支架。

(二) 出血性相关并发症

IntrePED 研究中的 906 例动脉瘤患者中,有 5 例(0.6%)发生动脉瘤破裂,其中 2 例形成颈动脉海绵窦瘘,并导致神经系统功能障碍;20 例(2.5%)发生脑实质内出血,其中 9 例死亡,出现严重神经系统功能障碍 10 例,轻度功能障碍 1 例;同侧脑实质内出血 16 例,对侧脑实质出血 3 例;其中 19 例发生在术后 30 d 以内,平均发生时间为术后 5 d。与治疗出血相关的危险因素包括既往动脉瘤破裂史和 3 个以上的 PED 置入^[81]。

迟发性动脉瘤破裂出血在症状性动脉瘤、大型及巨大型动脉瘤、囊状宽颈动脉瘤中更常见。迟发性破裂出血的确切原因尚不完全清楚,可能是多个因素相互作用的结果。首先,FD 治疗后,动脉瘤囊壁上形成的附壁血栓与血流持续接触,导致溶栓与血栓形成的过程交替进行。附壁血栓中分泌蛋白水解酶,动脉瘤壁化学降解,中膜平滑肌层破坏变薄,最终导致动脉瘤迟发性破裂^[82]。其次,动脉瘤内膜由腔内血管供血,囊内血栓形成使动脉瘤壁缺血、缺氧,出现炎症反应,炎性细胞尤其是巨噬细胞激活增加了弹性蛋白酶的生物活性和产量,通过酶降解反应导致瘤壁完整性缺失;FD 治疗后动脉瘤腔内仍有持续血流,血栓不断增大破坏动脉瘤壁稳定性,最

终引起动脉瘤破裂出血。Chow 等^[83]报道了 1 例接受 PED 治疗后迟发性出血死亡的基底动脉动脉瘤患者,尸检病理结果可见动脉瘤壁内有大量炎症细胞浸润,考虑动脉瘤迟发性出血是由于血栓形成过程中炎性细胞破坏动脉瘤壁所致。因此认为, PED 治疗后应用糖皮质激素对减少动脉瘤壁的炎性破坏、预防延迟出血有一定作用。另外,抗血小板聚集药物也会抑制纤维蛋白沉积和红色血栓成熟为白色血栓的过程,血栓内释放的蛋白水解酶侵蚀血管壁,导致动脉瘤破裂^[84]。最后,FD 置入处的载瘤动脉形态发生改变,动脉瘤内的血流要进入更高阻力的载瘤动脉,必须有更高的压力梯度,从而增加了瘤内压力,导致破裂^[85]。虽然目前对于 FD 是否需要结合弹簧圈治疗仍存在争议,但有学者认为,结合弹簧圈的治疗方式有望减少动脉瘤术后的破裂出血^[86]。

迟发性脑实质出血也是 FD 治疗后的主要并发症^[87],其较多发生在 FD 治疗的同侧大脑半球,具体机制尚不清楚。首先,其可能与放置 FD 过程中微导丝和微导管损伤血管壁有关,尤其是采用 DAPT 方案后。其次,血流动力学改变可能是颅内出血的重要因素之一,患者颅内动脉内的血流速度和血流量明显增加,使得远端循环易于出血^[88]。另一种假说认为,由于金属表面积在颅内血液循环中明显增加,使得血小板流经 FD 表面或穿过 FD 网孔时的剪切力增加,血小板被活化,虽采用 DAPT 方案,但仍有可能引起缺血性卒中,进而导致出血转化的发生^[89]。

(三) 缺血性相关并发症

IntrePED 研究中的 906 例动脉瘤患者,发生急性缺血性卒中 36 例(4.5%),其中 26 例(72.2%)发生在术后 30 d 以内,平均发生时间为 3.5 d。36 例缺血性卒中患者中死亡 10 例,出现严重并发症 16 例。PED 治疗后发生缺血性卒中的相关因素有:男性、高血压、大脑中动脉 PED 置入、梭形动脉瘤、巨大动脉瘤和多个 PED 置入。其中,梭形动脉瘤为独立危险因素^[90]。如果在先前放置过支架的载瘤动脉中再次行 FD 置入,或者多枚 FD 套叠置入,容易导致 FD 贴壁不良,将会增加支架内血栓形成和载瘤动脉狭窄的概率。与 FD 相关的血栓事件可以发生在术中、术后早期,迟发性缺血事件也较常见,发生率为 4.9%~10%^[91]。Chalouhi 等^[92]报道了 139 例采用 PED 治疗的动脉瘤患者,术后支架内狭窄的发生率为 15.8%(21 例),其中大部分发生在术后 6 个月以内。该研究分析认为,围手术期的强化阿司匹林治疗是减少 FD 治疗后支架内狭窄发

生率的重要手段。

(四) 载瘤动脉分支或穿支闭塞

载瘤动脉分支或穿支闭塞在多枚 FD 套叠置入时更容易发生,并明显增加缺血并发症的发生率^[93]。分支或穿支闭塞的原因有:FD 的机械性压迫效应、分支或穿支血管开口处微血栓脱落、新生内膜的过度增生等。van Rooij 和 Sluzewski^[94]报道 1 例左侧大脑前动脉 A1 段“哑铃状”动脉瘤患者,2 枚 PED 套叠释放,术后患者立即出现情感淡漠、右侧偏瘫;MRI 发现从左侧大脑前动脉 A1 段发出的豆纹动脉支配区域的基底核区梗死,考虑为 PED 直接压迫穿支开口导致血管闭塞^[94]。Kulcsár 等^[95]报道采用 FD 治疗 12 例基底动脉难治性动脉瘤患者,其中 1 例治疗中出现双侧大脑后动脉、左侧小脑上动脉血栓闭塞,给予替罗非班溶栓后血管再通;另有 3 例在术后随访中分别出现丘脑、脑桥缺血和神经功能恶化,考虑均与侧支或穿通支血管闭塞或血栓形成有关。

(五) 占位效应

对于巨大型动脉瘤引起的占位效应,FD 治疗后有进一步加重的风险,可能与动脉瘤内压力增高或血栓快速形成有关。Lylyk 等^[80]报道了 53 例 PED 治疗的动脉瘤患者,术后有 3 例巨大型动脉瘤患者出现脑神经麻痹症状加重,考虑与占位效应相关。McAuliffe 等^[96]报道了 57 例采用 PED 治疗的动脉瘤患者中,16 例出现了占位压迫症状,8 例术后使用糖皮质激素类药物治疗后症状完全缓解。

推荐意见:(1) FD 置入过程中的完全释放和贴壁非常重要,建议释放后行多角度 X 线透视或支架重建明确 FD 的打开及贴壁情况,以减少缺血性并发症的发生和提高动脉瘤的闭塞率。(2) 多枚 FD 套叠置入,或者在以往放置过支架的血管内再次行 FD 置入,会增加缺血并发症发生的风险。(3) 围手术期规律、有效、足疗程的抗血小板聚集治疗可以减少术后支架内狭窄及缺血性并发症的发生率。(4) FD 治疗后动脉瘤迟发破裂出血和脑实质出血的发生率虽然不高,但却是非常严重的并发症,其发生机制尚未完全明确,预防也比较困难,但 FD 结合弹簧圈的治疗方式对术后动脉瘤迟发性出血有一定保护作用,尚需进一步验证。(5) 术后应用糖皮质激素可能减少 FD 治疗后的炎症发生,对于减轻动脉瘤的占位效应和减少延迟出血可能均有一定的帮助,但尚需进一步验证。

共同执笔 杨新健(首都医科大学附属北京天坛医院)、罗斌(首都医科大学附属北京天坛医院、北京市神经外科研究所)、张鸿祺(首都医科大学宣

武医院)、刘建民(海军军医大学长海医院)、李天晓(河南省人民医院)

共识专家组成员(按姓氏汉语拼音排序) 曹毅(昆明医科大学第二附属医院)、柴尔青(甘肃省人民医院)、陈锴(厦门大学附属中山医院)、陈鑫璞(郑州大学第一附属医院)、陈长青(中南大学湘雅医院)、段传志(南方医科大学珠江医院)、冯文峰(南方医科大学南方医院)、高旭(中国人民解放军北部战区总医院)、顾宇翔(复旦大学附属华山医院)、管生(郑州大学第一附属医院)、郭庆东(空军军医大学西京医院)、韩巨(山东省千佛山医院)、何伟文(广州医科大学附属第二医院)、洪景芳(中国人民解放军联勤保障部队第九〇〇医院)、黄昌仁(西南医科大学附属医院)、黄德俊(宁夏医科大学总医院)、姜除寒(首都医科大学附属北京天坛医院)、姜维喜(中南大学湘雅医院)、李桂林(首都医科大学宣武医院)、李立(河南省人民医院)、李森(吉林大学中日联谊医院)、李秋平(复旦大学附属中山医院厦门医院)、李天晓(河南省人民医院)、李侠(空军军医大学西京医院)、李佑祥(首都医科大学附属北京天坛医院)、李真保(皖南医学院弋矶山医院)、李宗正(宁夏医科大学总医院)、梁传声(中国医科大学附属第一医院)、刘爱华(首都医科大学附属北京天坛医院)、刘建民(海军军医大学长海医院)、罗祺(吉林大学第一医院)、吕明(首都医科大学附属北京天坛医院)、买买提力·艾沙(新疆医科大学第一附属医院)、毛国华(南昌大学第二附属医院)、穆士卿(首都医科大学附属北京天坛医院)、那世杰(南京大学医学院附属鼓楼医院)、潘剑威(浙江大学医学院附属第一医院)、彭亚(常州市第一人民医院)、史怀璋(哈尔滨医科大学附属第一医院)、宋冬雷(上海冬雷脑科医院)、孙军(温州市中心医院)、万杰清(上海交通大学附属仁济医院)、汪阳(南昌大学第一附属医院)、王君(中国人民解放军总医院第一医学中心)、王云彦(山东大学齐鲁医院)、王智(哈尔滨医科大学附属第四医院)、吴红星(新疆维吾尔自治区人民医院)、吴科学(西藏自治区人民医院)、吴鑫(烟台毓璜顶医院)、肖福顺(天津医科大学总医院)、谢晓东(四川大学华西医院)、徐善才(哈尔滨医科大学附属第一医院)、许璟(浙江大学医学院附属第二医院)、许弈(海军军医大学长海医院)、杨大为(秦皇岛市第一医院)、杨华(贵州医科大学附属医院)、杨铭(中国人民解放军中部战区总医院)、杨新健(首都医科大

学附属北京天坛医院)、张昌伟(四川大学华西医院)、张鸿祺(首都医科大学宣武医院)、张鹏(首都医科大学宣武医院)、张晓龙(复旦大学附属华山医院)、张鑫(中国人民解放军东部战区总医院)、张扬(安徽省立医院)、赵林(河北医科大学第二医院)、赵元立(首都医科大学附属北京天坛医院,北京大学国际医院)、钟鸣(温州医科大学附属第一医院)、朱卿(苏州大学附属第二医院)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Chalouhi N, Hoh BL, Hasan D. Review of cerebral aneurysm formation, growth, and rupture [J]. *Stroke*, 2013, 44 (12): 3613-3622. DOI: 10.1161/STROKEAHA.113.002390.
- [2] Nieuwkamp DJ, Setz LE, Algra A, et al. Changes in case fatality of aneurysmal subarachnoid haemorrhage over time, according to age, sex, and region: a meta-analysis [J]. *Lancet Neurol*, 2009, 8(7):635-642. DOI: 10.1016/S1474-4422(09)70126-7.
- [3] Wiebers DO, Whisnant JP, Huston J, et al. Unruptured intracranial aneurysms: natural history, clinical outcome, and risks of surgical and endovascular treatment [J]. *Lancet*, 2003, 362(9378):103-110. DOI: 10.1016/S0140-6736(03)13860-3.
- [4] Molyneux AJ, Birks J, Clarke A, et al. The durability of endovascular coiling versus neurosurgical clipping of ruptured cerebral aneurysms: 18 year follow-up of the UK cohort of the International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) [J]. *Lancet*, 2015, 385(9969):691-697. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)60975-2.
- [5] Murthy SB, Shah S, Venkatasubba Rao CP, et al. Treatment of unruptured intracranial aneurysms with the pipeline embolization device [J]. *J Clin Neurosci*, 2014, 21(1):6-11. DOI: 10.1016/j.jocn.2013.03.014.
- [6] Cebal JR, Mut F, Raschi M, et al. Analysis of hemodynamics and aneurysm occlusion after flow-diverting treatment in rabbit models [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2014, 35(8):1567-1573. DOI: 10.3174/ajnr.A3913.
- [7] Chen J, Zhang Y, Tian Z, et al. Relationship between haemodynamic changes and outcomes of intracranial aneurysms after implantation of the pipeline embolisation device: a single centre study [J]. *Interv Neuroradiol*, 2019, 25(6):671-680. DOI: 10.1177/1591019919849673.
- [8] Kallmes DF, 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. DOI: 10.3171/2016.8.JNS16467.
- [9] 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(1):34-40. DOI: 10.3174/ajnr.A2421.
- [10] Kallmes DF, 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. DOI: 10.3174/ajnr.A4111.
- [11] Becks 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(1):40-48. DOI: 10.1093/neuros/nyw014.
- [12] Kallmes DF, Brinjikji W, Boccardi E, et al. Aneurysm study of Pipeline in an observational registry (ASPIRe) [J]. *Interv Neurol*, 2016, 5(1-2):89-99. DOI: 10.1159/000446503.
- [13] 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(1):62-66. DOI: 10.1136/neurintsurg-2019-015091.
- [14] 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. DOI: 10.3174/ajnr.A3925.
- [15] 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(5):807-816. DOI: 10.3174/ajnr.A5619.
- [16] 吕楠, 周宇, 杨鹏飞, 等. 血流导向装置治疗复杂颅内动脉瘤单中心经验 [J]. 第二军医大学学报, 2019, 40(3):304-310. DOI: 10.16781/j.0258-879x.2019.03.0304.
- [17] Oishi H, Teranishi K, Yatomi K, et al. Flow diverter therapy using a Pipeline embolization device for 100 unruptured large and giant internal carotid artery aneurysms in a single center in a Japanese population [J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2018, 58(11):461-467. DOI: 10.2176/nmc. oa.2018-0148.
- [18] Zanaty M, Chalouhi N, Starke RM, et al. Flow diversion versus conventional treatment for carotid cavernous aneurysms [J]. *Stroke*, 2014, 45(9):2656-2661. DOI: 10.1161/STROKEAHA.114.006247.
- [19] Kan P, Sweid A, Srivatsan A, et al. Expanding indications for flow diverters: ruptured aneurysms, blister aneurysms, and dissecting aneurysms [J]. *Neurosurgery*, 2020, 86(Supplement_1):S96-S103. DOI: 10.1093/neuros/nyz304.
- [20] Mokin M, Chinae A, Primiani CT, et al. Treatment of blood blister aneurysms of the internal carotid artery with flow diversion [J]. *J Neurointerv Surg*, 2018, 10(11):1074-1078. DOI: 10.1136/neurintsurg-2017-013701.
- [21] Lin N, Brouillard AM, Keigher KM, et al. Utilization of Pipeline embolization device for treatment of ruptured intracranial aneurysms: US multicenter experience [J]. *J Neurointerv Surg*, 2015, 7(11):808-815. DOI: 10.1136/neurintsurg-2014-011320.
- [22] 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; discussion 172. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000586.
- [23] Brinjikji W, Piano M, Fang S, et al. Treatment of ruptured complex and large/giant ruptured cerebral aneurysms by acute coiling followed by staged flow diversion [J]. *J Neurosurg*, 2016, 125(1):120-127. DOI: 10.3171/2015.6.JNS151038.
- [24] 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(6):1498-1502. DOI: 10.3171/2014.12.JNS14411.
- [25] 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(4):579-587. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001377.
- [26] Fang YB, Wen WL, Yang PF, et al. Long-term outcome of Tubridge flow diverter (s) in treating large vertebral artery dissecting aneurysms—a pilot study [J]. *Clin Neuroradiol*, 2017, 27(3):345-350. DOI: 10.1007/s00062-015-0494-8.
- [27] Griessenauer CJ, Ogilvy CS, Adeb N, et al. Pipeline embolization of posterior circulation aneurysms: a multicenter study of 131 aneurysms [J]. *J Neurosurg*, 2018, 130(3):923-935. DOI: 10.3171/2017.9.JNS171376.
- [28] Siddiqui AH, Abula AA, Kan P, et al. Panacea or problem: flow

- diverters in the treatment of symptomatic large or giant fusiform vertebralbasilar aneurysms [J]. *J Neurosurg*, 2012, 116 (6): 1258-1266. DOI: 10.3171/2012.2.JNS111942.
- [29] Dmytriw AA, Adeeb N, Kumar A, et al. Flow diversion for the treatment of basilar apex aneurysms [J]. *Neurosurgery*, 2018, 83 (6): 1298-1305. DOI: 10.1093/neuros/nyx628.
- [30] Burkhardt JK, Riina HA, Tanweer O, et al. Flow diversion and microvascular plug occlusion for the treatment of a complex unruptured basilar/superior cerebellar artery aneurysm: case report [J]. *J Neurosurg*, 2018; 1-6. DOI: 10.3171/2018.1.JNS172465.
- [31] 叶耿帆, 张萌, 邓林, 等. Pipeline 血流导向装置治疗颅内动脉瘤的 Meta 分析 [J]. *中华神经外科杂志*, 2016, 32 (3): 287-293. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2016.03.016.
- [32] 黄清海, 刘建民. 血流导向装置治疗颅内动脉瘤: Pipeline 十年回顾与展望 [J]. *中国脑血管病杂志*, 2018, 15 (1): 1-3. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2018.01.001.
- [33] Cagnazzo F, Mantilla D, Lefevre PH, et al. Treatment of middle cerebral artery aneurysms with flow-diverter stents: a systematic review and Meta-analysis [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2017, 38 (12): 2289-2294. DOI: 10.3174/ajnr.A5388.
- [34] Yavuz K, Geyik S, Saatici I, et al. Endovascular treatment of middle cerebral artery aneurysms with flow modification with the use of the pipeline embolization device [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2014, 35 (3): 529-535. DOI: 10.3174/ajnr.A3692.
- [35] Lin N, Lanzino G, Lopes DK, et al. Treatment of distal anterior circulation aneurysms with the Pipeline embolization device: a US multicenter experience [J]. *Neurosurgery*, 2016, 79 (1): 14-22. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001117.
- [36] Martínez-Galdámez M, Romance A, Vega P, et al. Pipeline endovascular device for the treatment of intracranial aneurysms at the level of the circle of Willis and beyond: multicenter experience [J]. *J Neurointerv Surg*, 2015, 7 (11): 816-823. DOI: 10.1136/neurintsurg-2014-011355.
- [37] Agid R, Souza MP, Reintamm G, et al. The role of endovascular treatment for pediatric aneurysms [J]. *Childs Nerv Syst*, 2005, 21 (12): 1030-1036. DOI: 10.1007/s00381-005-1152-2.
- [38] Ares WJ, Tonetti DA, Greene S, et al. Pipeline embolization of an infectious basilar artery aneurysm in a 2-year-old child: case report, discussion of the literature and perioperative considerations [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2019, 17 (5): E224-E228. DOI: 10.1093/ons/opy002.
- [39] Navarro R, Brown BL, Beier A, et al. Flow diversion for complex intracranial aneurysms in young children [J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2015, 15 (3): 276-281. DOI: 10.3171/2014.9.PEDS14333.
- [40] Barbuoglu M, Arat A. Flow diverters in the treatment of pediatric cerebrovascular diseases [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2017, 38 (1): 113-118. DOI: 10.3174/ajnr.A4959.
- [41] He L, Ladner TR, Pruthi S, et al. Rule of 5: angiographic diameters of cervicocerebral arteries in children and compatibility with adult neurointerventional devices [J]. *J Neurointerv Surg*, 2016, 8 (10): 1067-1071. DOI: 10.1136/neurintsurg-2015-012034.
- [42] Skukalek SL, Winkler AM, Kang J, et al. Effect of antiplatelet therapy and platelet function testing on hemorrhagic and thrombotic complications in patients with cerebral aneurysms treated with the pipeline embolization device: a review and meta-analysis [J]. *J Neurointerv Surg*, 2016, 8 (1): 58-65. DOI: 10.1136/neurintsurg-2014-011145.
- [43] Texakalidis P, Bekelis K, Atallah E, et al. Flow diversion with the pipeline embolization device for patients with intracranial aneurysms and antiplatelet therapy: a systematic literature review [J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2017, 161: 78-87. DOI: 10.1016/j.clineuro.2017.08.003.
- [44] 李桂林, 李静伟, 张鸿祺. Pipeline 栓塞装置在治疗颅内动脉海绵窦段动脉瘤中的应用 [J]. *中国脑血管病杂志*, 2016, 13 (8): 436-441. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2016.08.009.
- [45] 李航, 贺迎坤, 白卫星, 等. Pipeline 血流导向装置治疗复杂颅内动脉瘤的安全性及中期疗效 [J]. *中华神经外科杂志*, 2018, 34 (5): 442-446. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2018.05.003.
- [46] 冯明陶, 曹伟, 李嘉楠, 等. 血流导向装置治疗颅内大型和巨大型动脉瘤的效果分析 [J]. *中国脑血管病杂志*, 2017, 14 (1): 32-36. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2017.01.007.
- [47] 肖翔, 毛国华, 朱建明, 等. Pipeline 血流导向装置治疗颅内未破裂颈动脉瘤的短期随访 [J]. *中国脑血管病杂志*, 2017, 14 (12): 628-632, 647. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2017.12.003.
- [48] Saber H, Kherallah RY, Hadied MO, et al. Antiplatelet therapy and the risk of ischemic and hemorrhagic complications associated with Pipeline embolization of cerebral aneurysms: a systematic review and pooled analysis [J]. *J Neurointerv Surg*, 2019, 11 (4): 362-366. DOI: 10.1136/neurintsurg-2018-014082.
- [49] Tonetti DA, Jankowitz BT, Gross BA. Antiplatelet therapy in flow diversion [J]. *Neurosurgery*, 2020, 86 (Supplement_1): S47-S52. DOI: 10.1093/neuros/nyz391.
- [50] Walcott BP, Pisapia JM, Nahed BV, et al. Early experience with flow diverting endoluminal stents for the treatment of intracranial aneurysms [J]. *J Clin Neurosci*, 2011, 18 (7): 891-894. DOI: 10.1016/j.jocn.2011.01.002.
- [51] 世界华人检验与病理医师协会, 中国医师协会检验医师分会心血管检验医学专业委员会. 血小板功能检测在急性冠脉综合征患者抗血小板治疗中的应用专家共识 [J]. *中华医学杂志*, 2018, 98 (22): 1743-1751. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.22.005.
- [52] 梁震, 郭永明. 血栓弹力图的临床应用及研究进展 [J]. *中国临床研究*, 2019, 32 (1): 126-129. DOI: 10.13429/j.cnki.cjcr.2019.01.032.
- [53] Griessenauer CJ, Jain A, Enriquez-Marulanda A, et al. Pharmacy-mediated antiplatelet management protocol compared to one-time platelet function testing prior to Pipeline embolization of cerebral aneurysms: a propensity score-matched cohort study [J]. *Neurosurgery*, 2019, 84 (3): 673-679. DOI: 10.1093/neuros/nyy091.
- [54] Mega JL, Close SL, Wiviott SD, et al. Cytochrome p-450 polymorphisms and response to clopidogrel [J]. *N Engl J Med*, 2009, 360 (4): 354-362. DOI: 10.1056/NEJMoa0809171.
- [55] Adeeb N, Gupta R, Schneider AM, et al. Defining a clopidogrel response cut-off value using light transmission aggregometry before Pipeline embolization of unruptured intracranial aneurysms [J]. *World Neurosurg*, 2018, 113: e146-e152. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.01.198.
- [56] McTaggart RA, Choudhri OA, Marcellus ML, et al. Use of thromboelastography to tailor dual-antiplatelet therapy in patients undergoing treatment of intracranial aneurysms with the Pipeline embolization device [J]. *J Neurointerv Surg*, 2015, 7 (6): 425-430. DOI: 10.1136/neurintsurg-2013-011089.
- [57] Tan LA, Keigher KM, Munich SA, et al. Thromboembolic complications with Pipeline embolization device placement: impact of procedure time, number of stents and pre-procedure P2Y12 reaction unit (PRU) value [J]. *J Neurointerv Surg*, 2015, 7 (3): 217-221. DOI: 10.1136/neurintsurg-2014-011111.
- [58] Delgado Almandoz JE, Crandall BM, Scholz JM, et al. Pre-procedure P2Y12 reaction units value predicts perioperative thromboembolic and hemorrhagic complications in patients with cerebral aneurysms treated with the Pipeline embolization device [J]. *J Neurointerv Surg*, 2013, 5 Suppl 3: iii3-10. DOI: 10.1136/neurintsurg-2012-010582.
- [59] Wu X, Tian Z, Li W, et al. Patency of branch vessels after

- Pipeline embolization: comparison of various branches[J]. *Front Neurol*, 2019,10;838. DOI: 10.3389/fneur.2019.00838.
- [60] Raz E, Shapiro M, Becske T, et al. Anterior choroidal artery patency and clinical follow-up after coverage with the pipeline embolization device [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2015, 36 (5):937-942. DOI: 10.3174/ajnr.A4217.
- [61] Mazur MD, Kilburg C, Wang V, et al. Pipeline embolization device for the treatment of vertebral artery aneurysms: the fate of covered branch vessels[J]. *J Neurointerv Surg*, 2016,8(10):1041-1047. DOI: 10.1136/neurintsurg-2015-012040.
- [62] 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. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2019.10.011.
- [63] 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(2):E509-513; discussion E513. DOI: 10.1227/NEU.0b013e318258e1f8.
- [64] Park MS, 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 (6): 1127-1131. DOI: 10.3174/ajnr.A4678.
- [65] 盖延廷, 彭方强, 檀书斌, 等. 血流导向装置 Pipeline 治疗前循环大型和巨大型颅内动脉瘤的中长期疗效[J]. *中国脑血管病杂志*, 2018, 15 (1): 16-20, 39. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2018.01.004.
- [66] 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 (9): 843-850. DOI: 10.1136/neurintsurg-2017-013739.
- [67] Lin N, Brouillard AM, Krishna C, et al. Use of coils in conjunction with the pipeline embolization device for treatment of intracranial aneurysms [J]. *Neurosurgery*, 2015, 76 (2): 142-149. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000579.
- [68] 李静伟, 李桂林, 陈圣攀, 等. 血流导向装置 Pipeline 联合弹簧圈在治疗颈内动脉大型和巨大型未破裂动脉瘤中的作用[J]. *中国脑血管病杂志*, 2018, 15 (1): 4-9. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2018.01.002.
- [69] Wang J, Zhang Y, Lv M, et al. Corrigendum: application of the Pipeline embolization device for giant vertebrobasilar dissecting aneurysms in pediatric patients [J]. *Front Neurol*, 2019, 10: 862. DOI: 10.3389/fneur.2019.00862.
- [70] Berge J, Biondi A, Machi P, et al. Flow-diverter silk stent for the treatment of intracranial aneurysms: 1-year follow-up in a multicenter study [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2012, 33 (6): 1150-1155. DOI: 10.3174/ajnr.A2907.
- [71] Okelly CJ, Krings T, Fiorella D, et al. A novel grading scale for the angiographic assessment of intracranial aneurysms treated using flow diverting stents [J]. *Interv Neuroradiol*, 2010, 16 (2):133-137. DOI: 10.1177/159101991001600204.
- [72] Kamran M, Yarnold J, Grunwald IQ, et al. Assessment of angiographic outcomes after flow diversion treatment of intracranial aneurysms: a new grading schema [J]. *Neuroradiology*, 2011, 53 (7):501-508. DOI: 10.1007/s00234-010-0767-5.
- [73] Chalouhi N, Patel PD, Atallah E, et al. Low yield of cerebral angiography in adequately occluded aneurysms after flow diversion [J]. *Neurosurgery*, 2018, 83 (6): 1294-1297. DOI: 10.1093/neuros/nyx625.
- [74] Briganti F, Napoli M, Leone G, et al. Treatment of intracranial aneurysms by flow diverter devices: long-term results from a single center [J]. *Eur J Radiol*, 2014, 83 (9): 1683-1690. DOI: 10.1016/j.ejrad.2014.05.029.
- [75] Byrne JV, Beltechi R, Yarnold JA, et al. Early experience in the treatment of intracranial aneurysms by endovascular flow diversion: a multicentre prospective study [J]. *PLoS One*, 2010, 5 (9). DOI: 10.1371/journal.pone.0012492.
- [76] 杨鹏飞, 刘建民, 黄清海, 等. 新型血流导向装置 Tubridge 治疗颅内动脉瘤的初步经验 [J]. *介入放射学杂志*, 2011, 20 (5): 357-362. DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2011.05.006.
- [77] Lin LM, Colby GP, Jiang B, et al. Classification of cavernous internal carotid artery tortuosity: a predictor of procedural complexity in Pipeline embolization [J]. *J Neurointerv Surg*, 2015, 7 (9): 628-633. DOI: 10.1136/neurintsurg-2014-011298.
- [78] Szikora I, Berentei Z, Kulcsar Z, et al. Treatment of intracranial aneurysms by functional reconstruction of the parent artery: the Budapest experience with the pipeline embolization device [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2010, 31 (6): 1139-1147. DOI: 10.3174/ajnr.A2023.
- [79] Lubicz B, Collignon L, Raphaeli G, et al. Flow-diverter stent for the endovascular treatment of intracranial aneurysms: a prospective study in 29 patients with 34 aneurysms [J]. *Stroke*, 2010, 41 (10): 2247-2253. DOI: 10.1161/STROKEAHA.110.589911.
- [80] Lylyk P, Miranda C, Ceratto R, et al. Curative endovascular reconstruction of cerebral aneurysms with the pipeline embolization device: the Buenos Aires experience [J]. *Neurosurgery*, 2009, 64 (4): 632-642; discussion 642-643; quiz N6. DOI: 10.1227/01.NEU.0000339109.98070.65.
- [81] Brinjikji W, Lanzino G, Cloft HJ, et al. Risk factors for hemorrhagic complications following Pipeline embolization device treatment of intracranial aneurysms: results from the international retrospective study of the Pipeline embolization device [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2015, 36 (12): 2308-2313. DOI: 10.3174/ajnr.A4443.
- [82] Kulcsár Z, Houdart E, Bonafé A, et al. Intra-aneurysmal thrombosis as a possible cause of delayed aneurysm rupture after flow-diversion treatment [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2011, 32 (1): 20-25. DOI: 10.3174/ajnr.A2370.
- [83] Chow M, McDougall C, O'Kelly C, et al. Delayed spontaneous rupture of a posterior inferior cerebellar artery aneurysm following treatment with flow diversion: a clinicopathologic study [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2012, 33 (4): E46-51. DOI: 10.3174/ajnr.A2532.
- [84] Turowski B, Macht S, Kulcsár Z, et al. Early fatal hemorrhage after endovascular cerebral aneurysm treatment with a flow diverter (SILK-stent): do we need to rethink our concepts? [J]. *Neuroradiology*, 2011, 53 (1): 37-41. DOI: 10.1007/s00234-010-0676-7.
- [85] 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. DOI: 10.3174/ajnr.A2398.
- [86] Rouchaud A, Brinjikji W, Lanzino G, et al. Delayed hemorrhagic complications after flow diversion for intracranial aneurysms: a literature overview [J]. *Neuroradiology*, 2016, 58 (2): 171-177. DOI: 10.1007/s00234-015-1615-4.
- [87] Hu YC, Deshmukh VR, Albuquerque FC, et al. Histopathological assessment of fatal ipsilateral intraparenchymal hemorrhages after the treatment of supraclinoid aneurysms with the Pipeline embolization device [J]. *J Neurosurg*, 2014, 120 (2): 365-374. DOI: 10.3171/2013.11.JNS131599.
- [88] Brunozi D, Shakur SF, Hussein AE, et al. Middle cerebral artery flow velocity increases more in patients with delayed intraparenchymal hemorrhage after Pipeline [J]. *J Neurointerv Surg*, 2018, 10 (3): 249-251. DOI: 10.1136/neurintsurg-2017-013042.
- [89] 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(4):603-608. DOI: 10.3174/ajnr.A3065.
- [90] Brinjikji W, Lanzino G, Cloft HJ, et al. Risk factors for ischemic complications following Pipeline embolization device treatment of intracranial aneurysms: results from the IntrePED study[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2016,37(9):1673-1678. DOI: 10.3174/ajnr.A4807.
- [91] Wong GK, Kwan MC, Ng RY, et al. Flow diverters for treatment of intracranial aneurysms: current status and ongoing clinical trials[J]. J Clin Neurosci, 2011,18(6):737-740. DOI: 10.1016/j.jocn.2010.10.011.
- [92] Chalouhi N, Polifka A, Daou B, et al. In-Pipeline stenosis: incidence, predictors, and clinical outcomes[J]. Neurosurgery, 2015, 77(6): 875-879; discussion 879. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000908.
- [93] Zhou G, Su M, Yin YL, et al. Complications associated with the use of flow-diverting devices for cerebral aneurysms: a systematic review and meta-analysis[J]. Neurosurg Focus, 2017,42(6): E17. DOI: 10.3171/2017.3.FOCUS16450.
- [94] van Rooij WJ, Sluzewski M. Perforator infarction after placement of a pipeline flow-diverting stent for an unruptured A1 aneurysm [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2010,31(4):E43-44. DOI: 10.3174/ajnr.A2034.
- [95] Kulcsár Z, Ernemann U, Wetzel SG, et al. High-profile flow diverter (silk) implantation in the basilar artery: efficacy in the treatment of aneurysms and the role of the perforators[J]. Stroke, 2010,41(8):1690-1696. DOI: 10.1161/STROKEAHA.110.580308.
- [96] McAuliffe W, Wycoco V, Rice H, et al. Immediate and midterm results following treatment of unruptured intracranial aneurysms with the pipeline embolization device[J]. AJNR Am J Neuro-radiol, 2012,33(1):164-170. DOI: 10.3174/ajnr.A2727.
- (收稿:2020-02-29 修回:2020-03-19)
(本文编辑:刘岩红)

· 讣文 ·

沉痛悼念罗世琪教授

刘岩红¹ 李春德² 贾旺^{1,2}

¹中华神经外科杂志编辑部,北京 100070; ²首都医科大学附属北京天坛医院神经外科 100070

通信作者:贾旺,Email: jwtyy@126.com

DOI: 10.3760/cma.j.cn112050-20200506-00274

著名神经外科专家、我国神经外科的先驱者之一、北京天坛医院原神经外科副主任罗世琪教授因病于2020年5月3日15时48分在北京天坛医院逝世,享年83岁。

罗世琪教授1937年11月3日生于河北博野,1960年毕业于北京医学院(现北京大学医学部),同年就职于宣武医院,1982年随科室迁至北京天坛医院,1985年担任神经外科副主任,并参与创建了我国第一个小儿神经外科专业病房。1986—1987年赴美国田纳西州Vanderbilt大学神经外科做访问学者。1997年和2004年分别出版了《儿童颅内肿瘤》、《下丘脑错构瘤》两部具有里程碑意义的经典专著。1989年被北京市政府授予“北京市有突出贡献的科技专家”称号,1991年获第一批国务院特殊津贴,并连任第八届、第九届北京市政协委员。

1985年,罗世琪教授协助王忠诚院士筹建了《中华神经外科杂志》,作为编委他见证了《中华神经外科杂志》的发展历程,他积极建言献策,倾注了大量的心血,为《中华神经外科杂志》的成长与壮大做出了重大贡献。他为杂志审稿、定稿30余年,从不懈怠,古稀之年仍抱病躯坚持每月参加编辑部的专家定稿会,风雨无阻,会中的精彩点评、谆谆教诲,犹在耳侧。对稿件的审读,他不避烦难、不避亲疏、公平公正、精益求精。在专业知识方面他融汇新知,尤其在小儿神经外

科专业颇有建树,对我国小儿神经外科的创立和发展做出了突出贡献。他一生好学不倦,笔耕不辍,古稀之年还多次将自己的宝贵经验发表于《中华神经外科杂志》。罗世琪教授这种治学严谨的态度和精神值得我们学习和称颂。

罗世琪教授不仅在学术上建树颇丰,还做到为人师表、身正为范,教书育人兢兢业业,倾心培养了大批神经外科优秀人才,深得学生及同行、同事的敬重,为我国神经外科的发展做出了卓越贡献。罗世琪教授的崇高学术风范永远是我们学习的榜样。

罗世琪教授一生心系患者、心系神经外科事业,高风亮节、行事坚毅、刚正不阿、施恩而不图报、默默耕耘而不追名求利,彰显了质朴无华的人格魅力,其一生令人敬佩,是中国神经外科界的楷模。

罗世琪教授的仙逝是我国神经外科界的损失,我们万分悲痛,深感惋惜。如今逝者已矣,除了哀悼,唯愿他能永远安息。我们将化悲痛为力量,继续维护和搭建我国神经外科的学术平台,推动杂志的社会效益和经济效益,进一步扩大杂志的影响力,为我国神经外科事业的发展而努力奋斗。

(收稿:2020-05-06)

(本文编辑:张学锋)