

· 论 著 ·

药物洗脱支架与裸金属支架治疗症状性椎动脉狭窄的临床研究

贾博¹, 刘伟¹, 陈曦², 李南丁¹, 王赞¹, 王冀伟^{1*}

(1.河北医科大学第一医院神经外科,河北石家庄 050031;2.河北医科大学第一医院神经内科,河北石家庄 050031)

[摘要] 目的 探究药物洗脱支架与裸金属支架治疗椎动脉狭窄的安全性、有效性及支架内再狭窄的影响因素。方法 选取2022年6月—2023年10月在河北医科大学第一医院神经外科行椎动脉支架植入术的患者129例,采用随机对照的方法分为药物洗脱支架组和裸金属支架组并进行随访,记录患者临床资料并根据术后是否发生支架内再狭窄分为狭窄组和非狭窄组。通过 Logistic 回归分析,分析影响支架内再狭窄的危险因素。结果 所有支架均成功植入,手术后无穿刺部位血肿、颅内出血或死亡事件发生。药物洗脱支架组的支架内再狭窄发生率显著低于裸金属支架组(4.84% vs. 28.36%, $P < 0.05$)。多因素 Logistic 回归分析证实裸金属支架组是支架内再狭窄的独立危险因素($OR = 0.10, P < 0.001, 95\% CI: 0.02 \sim 0.39$)。结论 椎动脉支架植入是治疗药物控制欠佳的症状性椎动脉狭窄患者的安全有效的方法,药物洗脱支架可以显著降低支架内再狭窄的发生率。

[关键词] 椎底动脉供血不足;支架内再狭窄;药物洗脱支架 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2025.06.09

[中图分类号] R743.9 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2025)06-0676-06

Clinical study on the treatment of symptomatic vertebral artery stenosis with drug-eluting stents versus bare-metal stents

JIA Bo¹, LIU Wei¹, CHEN Xi², LI Nan-ding¹, WANG Zan¹, WANG Ji-wei^{1*}

(1. Department of Neurosurgery, the First Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050031, China; 2. Department of Neurology, the First Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050031, China)

[Abstract] **Objective** To explore the safety and efficacy of drug-eluting stents (DES) and bare-metal stents (BMS) in the treatment of vertebral artery stenosis (VAS), as well as the influencing factors of in-stent restenosis (ISR). **Methods** From June 2022 to October 2023, 129 patients undergoing vertebral artery stent implantation in the Department of Neurosurgery, the First Hospital of Hebei Medical University were selected and randomly divided into the DES group and the BMS group using a randomized controlled method and followed up. The clinical data of the patients were recorded and they were divided into the stenosis group and the non-stenosis group according to occurrence of ISR after surgery. Through Logistic regression analysis, the risk factors affecting ISR were analyzed. **Results** All stents were successfully implanted, and there was no hematoma at puncture site, intracranial hemorrhage, or death events after surgery. The incidence of ISR in the DES group was significantly lower than that in the BMS group (4.84% vs. 28.36%, $P < 0.05$). Multivariate regression analysis confirmed that

[收稿日期]2025-01-17

[基金项目]国家卫生健康委能力建设和继续教育中心资助项目

(GWJJQ2022100102)

[作者简介]贾博(1995-),男,河北邢台人,河北医科大学第一医院医学硕士研究生,从事神经外科疾病诊治研究。

* 通信作者。E-mail:57503001@hebm.u.edu.cn

the BMS group was an independent risk factor for ISR (OR=0.10, $P<0.001$, 95%CI:0.02-0.39). **Conclusion** Vertebral artery stent implantation is a safe and effective method for treating patients with symptomatic VAS who are poorly controlled by drugs, and DES can significantly reduce the incidence of ISR.

[Key words] vertebrobasilar insufficiency; in-stent restenosis; drug-eluting stent

椎动脉狭窄(vertebral artery stenosis, VAS)是引发后循环脑缺血及脑卒中的重要病因,症状性患者5年卒中风险较无症状者高25%~35%,且后循环卒中具有高致残率和高病死率的特点,其导致患者出现明显的功能障碍和生活质量下降,显著影响功能状态和生活质量并给医疗系统带来巨大负担^[1]。现行治疗方案中主要包括药物干预和血管内治疗。药物治疗以抗血小板聚集和他汀类药物为主,但存在症状缓解率低、无法逆转血管狭窄等局限性。血管内支架成形术虽能快速改善血流动力学,但支架内再狭窄(in-stent restenosis, ISR)发生率高达23%~35%,成为制约其临床应用的瓶颈问题。ISR的形成机制复杂,涉及血管弹性回缩、内膜过度增生、血栓形成及血管重塑等多因素交互作用,药物洗脱支架(drug-eluting stent, DES)虽可降低ISR率,其长期疗效仍需验证^[2]。此外, VAS解剖学特征以及患者自身具备的高危因素对ISR的影响尚未完全阐明,导致临床缺乏精准的风险分层工具。本研究采用前瞻性单中心随机对照试验设计,纳入141例经脑血管造影确诊且药物治疗无效的症状性VAS患者(最终完成129例随访),通过对比裸金属支架与DES的临床结局,系统评估支架植入术的安全性和有效性,并采用多因素回归模型分析ISR的独立危险因素,为个体化治疗策略制定提供循证依据,对优化脑血管病二级预防体系具有重要临床价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2022年6月—2023年10月在河北医科大学第一医院神经外科行椎动脉支架植入术的患者141例作为研究对象,使用随机数字表法分为DES组和裸金属支架(bare metal stent, BMS)组。129例患者完成随访,随访率为91.48%,其中DES组62例, BMS组67例。2组一般资料比较差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,见表1。纳入标准:①年龄18~80岁;②药物治疗失败的症状性椎动脉狭窄患者(90 d内发生过卒中或短暂性脑卒中发作,发生卒中或短暂性脑卒中发作时正在使用至少1种抗血小板药物,引起症状的同侧椎

动脉狭窄率 $>70\%$);③最近一次卒中或短暂性脑卒中发作在3周以上;④责任血管管径,直径 <20 mm,远端血管正常;⑤末次时间mRS评分 ≤ 3 分;⑥患者至少有1个或以上的粥样斑块的危险因素,包括高血压、糖尿病、高同型半胱氨酸血症或吸烟史;⑦患者了解试验目的并自愿签署知情同意书。排除标准:①病历信息资料记录不全的患者;②非动脉粥样硬化引起的血管狭窄(动脉夹层、烟雾病、血管炎等);③近3周内发生过急性缺血性卒中;④近3个月内发生过颅内出血(脑实质、蛛网膜下、硬膜外或硬膜下);⑤合并颅内动脉瘤、动静脉畸形或颅内肿瘤;⑥存在可能导致心源性栓塞的危险因素如(心房颤动、左心室血栓、6周内的心肌梗死);⑦自发出血倾向不能纠正及其他身体条件不能耐受介入治疗。

本研究经河北医科大学第一医院伦理委员会批准(伦理号:20220541)。

1.2 手术方法 DES组使用Apollo支架(MicroPort Medical, 上海, 中国), BMS组使用Bridge支架(Alain Medical, 北京, 中国)。患者在手术前5 d开始服用75 mg的硫酸氢氯吡格雷(商品名:波立维, 生产厂商:赛诺菲)和100 mg的阿司匹林肠溶片(商品名:拜阿司匹灵, 生产厂商:拜耳)。术前通过血栓弹力图(thromboelastography, TEG)评估患者对抗血小板药物的反应性。根据TEG参数(血小板抑制率 $\geq 30\%$ 为有效反应),所有患者均未显示阿司匹林或氯吡格雷抵抗,确认药物敏感性符合治疗标准。成功进行股动脉/桡动脉穿刺后,进行全身肝素化。采用微导丝通过导管穿过狭窄部位。支架直径选择与近端和远端正常血管较小直径相匹配,通常为1:1或0.9:1的比例。一旦支架系统缓慢进入狭窄部位,位置满意后逐渐扩张至标准压力,这一过程需要10~20 s。支架释放后,球囊和微导丝稳定,并立即通过导丝进行血管造影。以评估支架在血管内的贴合度。如果支架与血管壁贴合良好,血管直径恢复正常或狭窄程度 $<30\%$,在透视下小心地将球囊撤出。术后,血压维持在100~120/60~80 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa),以防止过度灌注。

表1 DES组和BMS组的基线资料

Table 1 Baseline data of patients in the DES group and the BMS group

组别	例数	女性	年龄	高血压	糖尿病	高脂血症	高同型半胱氨酸血症
		(例数,%)	[M(QR),岁]	(例数,%)	(例数,%)	(例数,%)	(例数,%)
DES组	62	12(19.35)	63(12)	48(77.42)	25(40.32)	12(19.35)	7(11.29)
BMS组	67	11(16.42)	66(10)	55(82.90)	23(34.33)	12(17.35)	4(5.97)
Z/ χ^2 值		0.198	1.507	0.435	0.507	0.044	1.151
P 值		0.663	0.134	0.509	0.482	0.833	0.280

组别	例数	吸烟(例数,%)	冠心病(例数,%)	对侧狭窄(例数,%)	左侧(例数,%)	椎开口(例数,%)
DES组	62	45(72.58)	10(16.13)	28(45.16)	29(46.77)	40(64.52)
BMS组	67	50(74.63)	14(20.90)	37(55.22)	38(56.72)	34(50.74)
Z/ χ^2 值		0.058	0.484	1.153	1.276	2.449
P 值		0.792	0.487	0.253	0.259	0.114

1.3 术后随访 患者围手术期资料来源于河北医科大学第一医院电子病历系统。术后口服阿司匹林肠溶片 100 mg/d 和硫酸氯吡格雷 75 mg/d 治疗 3 个月。随后停用硫酸氯吡格雷,长期口服阿司匹林肠溶片 100 mg/d。患者术后 6 个月接受脑血管造影检查以评估支架内狭窄并进行 mRS 评分。将支架内狭窄程度 $\geq 50\%$ 定义为支架内再狭窄,狭窄程度采用北美症状性颈动脉内膜切除试验(The North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial, NASCET) 标准分级:轻度(50%~70%)、中度(70%~90%)和重度($>90\%$)。

1.4 统计学方法 应用 SPSS 25.0 统计软件分析数据。正态分布的计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示,比较采用独立样本 *t* 检验,非正态分布计量资料以[M(QR)]表示,比较采用 Mann-Whitney 检验组间。计数资料比较采用 χ^2 检验和 Fisher 精确检验。采用逻辑回归方法分析影响椎动脉支架术后狭窄的相

关危险因素,单因素分析中 $P < 0.2$ 的危险因素纳入多因素分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 围手术期情况和随访 所有支架均成功植入,手术后无穿刺部位血肿、颅内出血或死亡事件发生。BMS 组术前狭窄率为(88.23 \pm 7.18)%,DES 组为(87.12 \pm 5.82)%。术后管腔剩余率 BMS 组为(9.73 \pm 4.72)%,DES 组为(9.67 \pm 4.69)%,见表 2。BMS 组的平均随访时间为 18.03 个月(6~29 个月),DES 组为 18.90 个月(6~26 个月)。随访期间,BMS 组 19 例患者出现再狭窄(28.36%),DES 组 3 例(4.84%), $P < 0.05$ (图 1)。在 22 例 ISR 患者中,发生了后循环缺血事件 5 例,其复发率高于非 ISR 患者(22.72% vs. 7.34%, $P = 0.076$),见表 3。这 5 例患者随后接受了双联抗血小板治疗的延长,患者自诉症状消失,目前在继续随访。

表2 围手术期及术后随访情况

Table 2 Peri-operative and post-operative follow-up

组别	例数	狭窄程度 ($\bar{x} \pm s, \%$)	管腔剩余率 ($\bar{x} \pm s, \%$)	术前 mRS 评分(例数,%)		术后 mRS 评分(例数,%)		
				1分	2分	0分	1分	2分
DES组	62	87.12 \pm 5.82	9.67 \pm 4.69	58(93.55)	4(6.45)	36(58.06)	23(37.10)	3(4.84)
BMS组	67	88.23 \pm 7.18	9.73 \pm 4.72	61(91.04)	6(9.00)	40(59.70)	21(31.34)	6(9.00)
<i>t</i> / χ^2 值		0.935	0.483		0.047		1.124	
P 值		0.356	0.628		0.842		0.574	



图1 椎动脉支架植入术前术后不同时间节点血管造影图像展示及变化分析

A.术前造影:显示椎动脉开口处狭窄,狭窄率超70%;B.术后即刻:支架植入术后即刻造影,支架位置及扩张良好;C.术后半年造影:可见支架内出现再狭窄

Figure 1 Angiographic images and analysis of changes before and after vertebral artery stenting at different time points

表3 术后6个月随访情况

Table 3 Follow-up results at 6 months after operation

	例数	(例数, %)	
		短暂性脑缺血 发作	无症状
术后再狭窄	22	5(22.72)	17(77.27)
无术后再狭窄	109	8(7.34)	101(92.66)
χ^2 值		3.280	
P 值		0.076	

2.2 支架植入术后 ISR 的危险因素分析 采用 Logistic 回归方法分析支架内再狭窄相关危险因素。以 ISR 的结局为因变量(不发生=0,发生=1),以一般资料中的研究因素为自变量,赋值情况见表4。单因素 Logistic 回归分析中,支架类型为 BMS、患者对侧椎动脉狭窄、支架直径 >4.5 mm 和椎动脉开口部位狭窄与 ISR 的高发生率相关(表5)。多因素 Logistic 回归分析中,支架类型为 BMS

是 ISR 的独立危险因素(表6)。

表4 自变量赋值情况

Table 4 Assignment of independent variables

自变量	赋值方式
性别	女性=0,男性=1
年龄	<70 岁=0, ≥ 70 岁=1
侧别	右侧=0,左侧=1
管腔狭窄程度	$<90\%$ =0, $\geq 90\%$ =1
术后管腔残留程度	$>10\%$ =0, $\leq 10\%$ =1
高血压	是=0,否=1
糖尿病	是=0,否=1
高脂血症	是=0,否=1
高同型半胱氨酸血症	是=0,否=1
吸烟	是=0,否=1
冠心病	是=0,否=1
对侧狭窄	是=0,否=1
支架直径	>4.5 mm=0, ≤ 4.5 mm=1
狭窄位置	V4段=0,椎开口段=1
支架类型	药物洗脱支架=0,金属裸支架=1

表5 支架内再狭窄的单因素 Logistic 回归分析结果

Table 5 Univariate Logistic analysis results of in-stent restenosis

相关因素	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
性别	-0.38	0.67	0.32	0.574	0.69	0.19~2.55
年龄	-0.65	0.59	1.22	0.270	0.52	0.16~1.66
侧别	0.13	0.47	0.07	0.788	1.14	0.45~2.85
管腔狭窄程度	0.54	0.47	1.33	0.251	1.72	0.68~4.33
术后管腔残留程度	0.37	0.50	0.54	0.465	1.44	0.54~3.82
高血压	0.19	0.56	0.11	0.741	1.20	0.40~3.64
糖尿病	0.29	0.50	0.33	0.567	1.33	0.50~3.54
高脂血症	0.31	0.57	0.29	0.586	1.36	0.45~4.15
高同型半胱氨酸血症	0.67	0.72	0.86	0.353	1.95	0.48~8.04
吸烟	0.56	0.59	0.90	0.344	1.57	0.18~1.82
冠心病	0.44	0.67	0.43	0.513	1.60	0.18~2.39
对侧狭窄	1.15	0.52	4.94	0.026	3.16	1.15~8.69
支架直径	-0.71	0.49	2.02	0.155	0.49	0.19~1.31
狭窄位置	-0.81	0.52	2.47	0.116	0.44	0.16~1.22
支架类型	-2.06	0.65	9.91	0.002	0.13	0.04~0.46

表6 支架内再狭窄的多因素 Logistic 回归分析结果

Table 6 Multivariate Logistic analysis results of in-stent restenosis

相关因素	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
对侧狭窄	1.01	0.55	3.36	0.071	2.75	0.93~8.13
支架直径	0.57	0.96	0.35	0.552	1.76	0.28~11.25
狭窄位置	0.33	0.20	2.71	0.102	0.20	0.03~1.39
支架类型	-0.96	0.29	10.83	<0.001	0.10	0.02~0.39

3 讨论

椎动脉狭窄是后循环缺血性卒中的主要原因,它主要是由于动脉壁内斑块形成,导致动脉腔狭窄,影响血流,引发严重的并发症如脑梗死[3]。这种情况对老年人影响很大,常引起头晕、视力模糊和肢体无力等症状。研究表明,椎动脉狭窄约占缺血性中风的20%。由于动脉的分叉和迂曲多变的血管

走形,受影响最常见部位是椎动脉开口处,其次是V4段[4]。生活方式的变化和人口老龄化等多中因素导致椎动脉狭窄病例增加,发病率随年龄增长而增加,患有高血压、糖尿病和高脂血症等慢性疾病以及吸烟者的风险更高[5]。调查显示,普通人群中椎动脉狭窄的患病率约为2.5%,而在缺血性脑血管病患者中,这一比例可高达25%。男性患者的发病率高于女性。本研究显示82.17%的患者为男性,平均年龄为63.85岁,这一结果与先前的研究一致。

目前,主要治疗方法是药物治疗和血管内治疗。然而,药物治疗往往效果不佳,尤其是对那些对药物无效的患者。因此,寻找新的治疗方法,如支架植入,已成为改善患者预后和降低椎动脉狭窄相关风险的研究重点。

对于患有椎动脉狭窄并表现出轻度缺血症状的患者,药物治疗仍然是主要选择。然而,对于那些症状严重干扰其正常生活患者的依赖药物治疗往往无法解决问题,支架置入和优质支架材料的应用使得血管内治疗更加有效和安全^[6]。但ISR的发生率仍然较高,大多数当前临床试验结果表明,裸金属支架植入后的再狭窄率25%~30%。为了进一步降低支架植入后的再狭窄风险,在金属支架表面涂覆一层专门的药物以抑制血管内膜增生并在血管内逐渐释放,可以有效降低支架再狭窄的风险^[7]。其他因素也可能影响结果,例如对侧椎动脉狭窄被认为与支架内再狭窄风险增加有关^[8]。药物涂层支架彻底改变了血管内治疗。早期的研究^[9]显示,在长期随访中,DES和BMS在椎动脉再狭窄、椎动脉闭塞方面差异无统计学意义。随着技术的进步和药物涂层的改进,DES的ISR率逐渐下降,荟萃^[10]分析纳入12项研究,共1243例患者(DES组562例,BMS组681例),显示与BMS相比,DES可显著降低椎动脉狭窄患者支架内再狭窄和术后卒中的风险。

本研究采用单中心设计,评估了药物洗脱支架与裸金属支架在对药物治疗无效的椎动脉狭窄症状患者中的疗效和安全性。在本研究中,DES支架的6个月再狭窄率为4.84%,而BMS支架的6个月再狭窄率为28.36%。为了尽量减少手术操作、支架制造工艺及其他因素对研究结果的影响,因此进行了单中心研究。所使用的金属支架是经典的Apollo支架,而药物洗脱支架采用了涂有雷帕霉素的Bridge支架,这减轻了不同抗药涂层对研究结果的影响。本研究提示,药物涂层支架显著降低了再狭窄的风险,突显了选择适合每位患者的支架的重要性。研究^[11]表明,椎动脉的解剖学和组织学特征与ISR的高发率直接相关。与冠状动脉和肾动脉类似,椎动脉富含大量的弹性纤维和平滑肌,这有助于提高弹性回缩的速度^[12]。此外,椎动脉内的动脉粥样硬化斑块通常表现为平滑且坚硬,很少出现溃疡,以上独特的特征可能会增加支架植入的复杂性,并在手术后增加残余狭窄的风险^[13-14]。对于这类患者,更频繁和密切的术后随访更为重要,如有急性缺血性脑卒中的发作应及时行血管介入治疗配合早期康复干预,以期更好地改善患者的神经功能状态及

日常生活能力^[15]。此前关于椎动脉狭窄的研究集中在开口处狭窄,很少有研究关注椎动脉颅内段狭窄。本研究显示,DES在治疗椎动脉颅内段和颅外段狭窄患者的安全性和有效性相似,颅内段的再狭窄风险略低,为颅内椎动脉狭窄的血管内治疗提供了初步的证据。

Souteyrand等^[16]研究显示,足够的预扩张有助于涂层药物更均匀地释放到血管壁中。<4.5 mm的支架可能会增加手术后再次狭窄的风险。糖尿病、高脂血症、冠心病、术后残余狭窄高是椎动脉支架植入术后再次狭窄的风险因素^[17]。然而,本研究中并没有显示相关危险因素会增加ISR的风险。本研究未显示糖尿病、高脂血症及吸烟与支架内再狭窄的显著关联($P>0.05$),可能与样本量较小或患者基础疾病控制较好有关,需进一步扩大样本量以验证此类传统危险因素在椎动脉支架术后再狭窄中的作用。现有研究对双联抗血小板治疗(dual antiplatelet therapy,DAPT)疗程与ISR的关系存在争议。冠状动脉领域的研究表明,双联抗血小板治疗的持续时间主要影响支架内血栓形成风险加快缺血性脑卒中的进展,而非直接作用于内膜增生导致的ISR^[18-20]。椎动脉支架术后的ISR机制更倾向于血管重塑不良及平滑肌细胞增殖,其危险因素包括支架类型、血管解剖特征及全身代谢状态。

Kwon等^[21]开展的一项回顾性分析,纳入了171例接受颈动脉支架植入术(carotid artery stenting,CAS)的患者,探究了CAS后ISR与血小板对氯吡格雷反应性的关系,结果显示P2Y₁₂反应单位和抑制率与ISR明显相关,并且高P2Y₁₂反应单位和低抑制率与CAS后中重度ISR或闭塞相关。因此,为了预防或者降低CAS后ISR,对于高氯吡格雷耐药患者最好调整用药方案。本研究旨在对比DES与BMS的ISR风险差异,并未预设分析抗血小板疗程对ISR的影响。所有患者术后均遵循标准DAPT3个月后停用氯吡格雷,且未设置延长DAPT的对照组,因此无法直接探讨氯吡格雷停药与ISR的因果关系。

本研究通过术前TEG评估确认所有患者均无氯吡格雷抵抗(血小板抑制率>75%)。DES组的ISR发生率极低(4.84%),提示支架类型(而非抗血小板疗程)可能是ISR的主要决定因素。这一结果与当前椎动脉狭窄领域的研究趋势一致,即DES通过抑制内膜增生显著降低ISR风险。尽管本研究未支持氯吡格雷停药与ISR的关联,但对于存在氯吡格雷耐药的高危患者,调整抗血小板方案(如换用

替格瑞洛)或适当延长 DAPT 疗程可能具有临床意义。未来需设计前瞻性研究,纳入不同 DAPT 疗程及耐药性分层,以全面评估抗血小板策略对椎动脉 ISR 的影响。

尽管药物涂层支架被广泛使用并减少了再次狭窄的发生,但其长期安全性仍不确定。长期并发症包括晚期支架血栓形成和远端灌注区域的细胞毒性效应^[22],这可能是由于 DES 中的抗有丝分裂药物如西罗莫司或紫杉醇及其衍生物而发生,导致慢性炎症、内皮功能障碍和愈合延迟。然而这需要大样本研究和长期随访数据来支持。

本研究显示对于药物治疗无效的症状性椎动脉狭窄患者,支架植入是一种可行的治疗方法。与裸金属支架相比,DES 显著降低了再狭窄率。本研究表明支架植入可以改善患者预后。未来的研究应重点关注确定影响患者 ISR 的特异性因素,以进一步优化椎动脉狭窄患者的临床治疗策略。

[参考文献]

- [1] Maitas O, Bob-Manuel T, Price J, et al. Vertebral artery interventions: a comprehensive updated review [J]. *Curr Cardiol Rev*, 2023, 19(1): e170322202296.
- [2] Bajeu IT, Niculescu AG, Scafa-Udriște A, et al. In-stent restenosis: A comprehensive review [J]. *Int J Mol Sci*, 2024, 25(3): 1715.
- [3] Correia PN, Meyer IA, Odier C. Intrinsic stenosing and occlusive pathologies of the vertebral artery: A narrative review [J]. *Neurochirurgie*, 2024, 70(3): 101527.
- [4] Tudose RC, Rusu MC, Hostiuc S. The vertebral artery: A systematic review and a meta-analysis of the current literature [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13(12): 2036.
- [5] Qtaish I, Ayasrah M, Qtaish NR. Retrospective cohort angiographic analysis of vertebral artery dominance, stenosis patterns, and demographic correlations [J]. *Vasc Health Risk Manag*, 2024, 20: 207-214.
- [6] Krájičková D, Krajina A, Herzig R, et al. Percutaneous transluminal angioplasty for atherosclerotic stenosis of vertebral artery origin [J]. *J Clin Med*, 2024, 13(14): 4010.
- [7] Kožlik M, Harpula J, Chuchra PJ, et al. Drug-eluting stents: technical and clinical progress [J]. *Biomimetics (Basel)*, 2023, 8(1): 72.
- [8] Yang K, Fang S, Zhang X, et al. In-stent restenosis after vertebral artery origin stenosis stenting: a nomogram for risk assessment [J]. *J Neurointerv Surg*, 2023, 15(e1): e41-e45.
- [9] Karanasiou GS, Loukas VS, Tachos NS, et al. In silico scenario of bare metal stent and drug-eluting stent performance modeling in patient-specific arteries: a comparative analysis [J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2024, 2024: 1-5.
- [10] Zhang Y, Li W, Zhang L. Efficacy and safety of drug-eluting stents versus bare-metal stents in symptomatic intracranial and vertebral artery stenosis: a meta-analysis [J]. *Front Neurol*, 2024, 15: 1389254.
- [11] Peeters JB, Idriceanu T, El Hage G, et al. A comprehensive review of the vertebral artery anatomy [J]. *Neurochirurgie*, 2024, 70(3): 101518.
- [12] Morales-Rocuzzo D, Sabahi M, Obrzut M, et al. Posterior vascular anatomy of the encephalon: a comprehensive review [J]. *Surg Radiol Anat*, 2024, 46(6): 843-857.
- [13] Zhang F, Yao J, Wu P, et al. Self-expanding intracranial drug-eluting stent system in patients with symptomatic intracranial atherosclerotic stenosis: initial experience and midterm angiographic follow-up [J]. *Neuroradiology*, 2024, 66(11): 2015-2022.
- [14] Jabre R. Applied anatomy of the vertebral arteries for endovascular neurointerventions [J]. *Neurochirurgie*, 2024, 70(3): 101531.
- [15] 李翠芳, 师俊明, 杨倩, 等. 早期康复干预结合血管介入治疗急性缺血性脑血管病患者的效果分析 [J]. *河北医药*, 2024, 46(13): 2065-2068.
- [16] Souteyrand G, Mouyen T, Honton B, et al. Stent underexpansion is an underestimated cause of in-stent restenosis: insights from RESTO registry [J]. *J Am Heart Assoc*, 2024, 13(21): e036065.
- [17] 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 [J]. *Front Neurol*, 2023, 14: 1170110.
- [18] Valgimigli M, Gagnano F, Branca M, et al. Ticagrelor or clopidogrel monotherapy vs dual antiplatelet therapy after percutaneous coronary intervention: a systematic review and patient-level meta-analysis [J]. *JAMA Cardiol*, 2024, 9(5): 437-448.
- [19] Saito T, Kuno T, Fujisaki T, et al. Dual antiplatelet therapy duration and stent type in patients with high bleeding risk: A systematic review and network meta-analysis [J]. *Am Heart J*, 2025, 279: 9-19.
- [20] Wu Y, Shen H, Cai B, et al. Factors associated with clopidogrel resistance and clinical outcomes in ischemic cerebrovascular disease: A retrospective study [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2024, 33(6): 107684.
- [21] Kwon MY, Lee SH, Lee Y, et al. Relationship between in-stent restenosis following carotid artery stenting and platelet reactivity to clopidogrel [J]. *J Neurointerv Surg*, 2025, 17(3): 290-297.
- [22] Guo B, Chen S, Zhang Y, et al. A quantitative study of the effects of a dual layer coating drug-eluting stent on safety and efficacy [J]. *J Biomech*, 2024, 176: 112304.

(本文编辑:何祯)