

近肾腹主动脉瘤腔内治疗的研究进展与评价

陈月辉, 王哲, 赵渝*

重庆医科大学附属第一医院血管外科, 重庆

收稿日期: 2026年2月16日; 录用日期: 2026年3月9日; 发布日期: 2026年3月18日

摘要

近肾腹主动脉瘤(Juxtarenal Abdominal Aortic Aneurysm, JAAA)由于近端瘤颈极短并常常伴有复杂的解剖形态, 如何更好地处理JAAA一直以来都是腔内治疗的挑战。自腹主动脉瘤腔内隔绝术(EVAR)诞生以来, 腔内治疗的器械和技术不断蓬勃发展, 治疗策略逐渐从单一手段向多元化发展。本文旨在检索近年来关于JAAA腔内治疗的高质量文献, 从解剖适应性、围手术期并发症及远期耐久性等不同维度进行综合分析, 概述JAAA腔内治疗的最新研究进展, 对比不同腔内技术的临床效果, 并探讨未来的发展趋势。

关键词

近肾腹主动脉瘤, 腹主动脉瘤腔内隔绝术, 血管腔内技术

Advances and Evaluation of Endovascular Repair for Juxtarenal Abdominal Aortic Aneurysms

Yuehui Chen, Zhe Wang, Yu Zhao*

Department of Vascular Surgery, First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: February 16, 2026; accepted: March 9, 2026; published: March 18, 2026

Abstract

Juxtarenal Abdominal Aortic Aneurysm (JAAA) has long been a challenge for endovascular therapy due to its extremely short proximal neck and complex anatomy. Since the birth of endovascular aortic aneurysm repair (EVAR), the devices and techniques of endovascular therapy have been developing vigorously, and the therapeutic strategies have gradually developed from single means to diversification. The aim of this article is to retrieve the high-quality clinical studies on JAAA endovascular

*通讯作者。

treatment in recent years, comprehensively analyze the anatomical adaptability, perioperative complications and long-term durability, systematically evaluate the latest research progress of JAAA endovascular treatment, compare the clinical outcomes of different endovascular techniques, and explore the future trend.

Keywords

Juxtarenal Abdominal Aortic Aneurysm, EVAR, Endovascular Techniques

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

腹主动脉瘤(abdominal aortic aneurysm, AAA)是指腹主动脉局限性扩张超过正常血管管径 50%的一种主动脉疾病, 发病率较低, 但破裂后病死率高[1]。自 1991 年 Parodi 等[2]首次报道了腹主动脉瘤腔内修复术(endovascular aortic aneurysm repair, EVAR)成功治疗腹主动脉瘤后, 腔内技术目前已成为治疗 AAA 的主要手段, 但是近肾腹主动脉瘤(JAAA)由于近端瘤颈极短及解剖形态复杂, 一直是腔内治疗的挑战。随着开窗技术(Fenestrated Endovascular Aortic Repair, F-EVAR)、平行支架技术(Parallel Grafts, PG)及分支支架(Branch Endovascular Aortic Repair, B-EVAR)等腔内技术的蓬勃发展, 使得原来无法应用常规技术处理的 JAAA 有了新的腔内治疗选择。本文旨在系统评价 JAAA 腔内治疗的最新研究进展, 对比不同技术的优缺点, 并探讨未来的发展趋势, 以期为临床实践提供循证学参考。

2. JAAA 的定义与解剖特征

JAAA 约占腹主动脉瘤(AAA)的 15% [3]。根据 2024 版欧洲血管外科学会临床指南的标准, JAAA 归属于复杂腹主动脉瘤中一种亚型, 处于肾下(Infrarenal)与肾周(Pararenal)腹主动脉瘤的过渡地带, 它的解剖学的定义为瘤体近端紧邻肾动脉开口, 但尚未累及肾动脉本身的动脉瘤[4]。其核心特征在于近端瘤颈(Proximal Neck)极短, 即从最低侧肾动脉下缘至瘤体起始处的正常主动脉节段长度不足 4 mm, 但也有研究根据支架使用说明书(Instructions for Use, IFU)的不同设定瘤颈长度为不足 10 mm 或不足 15 mm [5], 因此在临床实践中对于近肾动脉瘤颈长度的定义仍然是模糊的, 目前我国主流观点认为瘤颈长度为 $\leq 10\sim 15$ mm 是合理的。传统的肾下 AAA 拥有足够的锚定区以实施标准 EVAR; 而 JAAA 虽未直接累及肾动脉, 但由于其近端锚定区不足, 若强行标准 EVAR, 则 IA 型内漏(Type IA Endoleak)及支架远期移位的风险极高[6]。此外需要注意, JAAA 常伴随所谓的“不良瘤颈(Hostile Neck)”特点, 如严重的成角($>60^\circ$)、大范围钙化或附壁血栓[4] [5]。这类解剖的限制使得传统 EVAR 的适应证不再适用。因此, 规范 JAAA 的定义不仅是空间位置的描述需要, 更是术式选择的指导需要, 它标志着 JAAA 的治疗理念逐渐从标准重建转向以 F-EVAR、Ch-EVAR、医生改制支架(physician modified endograft, PMEG)或内锚定(Endoanchor)为代表的复杂腔内技术的综合运用, 从而获得可靠的近端密封区。

3. 核心内脏动脉重建术

3.1. 开窗技术(Fenestrated Endovascular Aortic Repair, F-EVAR)

开窗技术指在主体支架上开一个或多个窗孔用于重建相对应的分支动脉, 且通常需在窗孔内放置额

外的分支支架来提高整个支架系统的密封性和稳定性。根据开窗方式可分为原位开窗和体外预开窗,原位开窗指主体支架近端在体内完全释放后使用破膜工具在分支开口对应的主体覆膜支架上破膜,再植入分支支架。预开窗技术则主要包括医生改造的开窗支架(Physician-Modified Endografts, PMEG)、定制开窗覆膜支架(Customer-Made Device, CMD)和成品的非定制开窗支架(Off the Shelf, OTS), PMEG 本质上并不是一种新的血流动力学重建技术,因此这里不作过多探讨。

CMD: 目前临床应用普及最广的 CMD 主要是 Zenith Fenestration 支架(简称 ZFEN, 美国 Cook 公司)和 Anaconda Fenestration 支架(简称 AFEN, 日本 Terumo 公司)。ZFEN 作为目前随访数据最充分的定制化支架产品,其安全性和有效性已得到长期随访结果的证实。Oderich 等[7]的多中心研究纳入 67 例 JAAA 患者,有 42 例完成了最终的研究随访,报道该技术成功率为 98.3%,5 年时一期和二期肾靶血管通畅率分别为 $82.7\% \pm 4.1\%$ 和 $95.7\% \pm 2.1\%$,术后 5 年 Ia 型内漏、支架移位和瘤体扩张发生率分别为 1.5%、3% 和 6%,无支架或瘤体相关死亡时间发生。但必须注意的是其再次介入率仍然很高,最近的报告显示,5 年时平均再次介入率为 22% 至 37% [8] [9]。Dossabhoy 等[10]对接受 ZFEN 治疗的 158 例患者进行了回顾性分析并报告,尽管术后再次干预率高达 26% (共 41 例患者,行 51 次再次干预,涵盖内漏修复及分支血管维护),但这种频繁的干预似乎并未显著降低患者的长期生存率。这一发现提示 F-EVAR 术后密切随访下的“再干预”策略也许可看做是维持技术成功的重要环节,但必须注意再干预同时也会导致患者住院成本增加和医疗资源的浪费。Guérault 等[11]的 Meta 分析通过大样本的生存数据建模,进一步证实了 FEVAR 在 5 年内的靶血管通畅率保持在 90% 以上,其远期耐久性显著优于传统 EVAR 的超适应证使用。需要注意 ZFEN 一般来说更适用于解剖结构比较规整、对远期抗位移能力和靶血管通畅率要求较高的患者,另一方面其释放后调节余地小,所以对术前测量的精准度要求较高,处理复杂瘤颈时灵活性稍差;AFEN 的特点主要是采用环形支架设计,具有术中可回收与重新定位能力,近端有两个密封环,柔顺性好,并且开窗区没有金属骨架覆盖,在处理极端成角的瘤颈时比较有优势。De Niet 等[12]针对 335 例受试者的多中心研究报告 AFEN 技术成功率为 88.4%,且在平均 2.7 年的随访中,靶血管通畅率高达 98%。但需要注意的是 AFEN 仅通过血压固定在血管壁上,一旦血压剧烈波动,其内漏风险便很高。Pini 等在一项意大利多中心注册研究[13]中指出,该支架术后 I 型内漏的发生率略高于 ZFEN (术后 30 天内漏率 4%),笔者认为这可能与其织物柔顺性与主动脉壁顺应性的动态匹配有关,支架覆膜材料与血管壁在血压动态影响下相互作用,最终会导致密封界面的动态差异。一项 Meta 分析[14]的结果也验证了 AFEN 在复杂解剖下的安全性和有效性,但这项研究同时也指出其长期抗移位能力仍需长期的前瞻性随机对照试验数据作为支撑。相比于 ZFEN, AFEN 其主要优势在于:开窗结构近端的控释装置可在主体支架释放后进一步调整近端的支架位置,且 AFEN 的开窗主体结构设计更灵活,无金属骨架结构的遮挡,开窗位置不受限,在适配更复杂的瘤颈时有相对优势。

OTS: 国外 OTS 主流产品主要包括 p-Branch 支架(美国 Cook 公司)、Ventana 支架(美国 Endologix 公司),后者虽然早中期随访结果验证了其在 JAAA 修复中的有效性和安全性[15],但由于缺少长期随访数据以及存在较高的再干预率,已逐步淡出市场。p-Branch 支架由包含腹腔干动脉开槽、肠系膜上动脉开窗和两个肾动脉圆锥形开窗,该器械有两种配置和五种近端直径可供选择,以提供与个体患者解剖结构的最佳匹配[16]。需要指出的是,虽然 p-Branch 在最近一项长期回顾性研究报告中被认为是安全和有效的,但是其远高于 CMD 的肾脏相关并发症发生率仍是临床实践中不可忽视的一个问题,未来需要更长期的随访研究来验证其安全性或进一步改进支架;WeFlow-JAAA 支架(杭州唯强医疗科技公司)作为国产 OTS 的代表,其早期的多中心临床试验结果令人鼓舞。Wang 与 Gao 等[17] [18]指出,WeFlow-JAAA 通过集成“SMA 开窗 + 腹腔干开窗 + 双肾动脉内嵌分支”的设计,解决了传统开窗在复杂分支定位上的困难。在对 115 例患者的早期随访中,其临床成功率极高,且 30 天内主要不良事件发生率处于较低水平[18]。

然而, Ou 等[19]的研究则提醒, 由于亚洲人肾动脉开口高度及成角具有特异性, OTS 器械的“标准配置”能否完全覆盖复杂的 JAAA 解剖(p-Branch 的在亚洲人群中的适配率约 40%、WeFlow-JAAA 最高适配率 [18]约 70%), 仍是未来推广面临的挑战。与 CMD 相比, OTS 的优点在于“即拿即用”、肾动脉调节能力高, 但其适用解剖范围受限、且操作难度相对较大、后期因对齐不良导致的 I 型内漏风险也越高。

既往研究结果确立了 F-EVAR 作为复杂 AAA 腔内治疗强有力的地位。Varkevisser 等[20]通过大规模病例对照研究证明, 相比于开腹手术(OSR), FEVAR 显著降低了围手术期的死亡率和病死率(3.5% vs 4.4%), 且患者的恢复周期明显更短。但 Vallabhaneni 等[21]则提醒: 尽管围手术期 FEVAR 被证明比 OSR 更安全, 但 FEVAR 患者的总体生存率却比 OSR 差, 在 3.5 年随访期间, 研究人群总体死亡率为 FEVAR (27.6%) VS OSR (14.2%)。需要指出的是, F-EVAR 在不同指南中的推荐并不一致: 2020 年英国 NICE 腹主动脉瘤管理指南将 F-EVAR 在 JAAA 修复的证据描述为“数量和质量均有限”, 而 2019 年 ESVS 指南[22]则建议对于 JAAA, 如果可行, F-EVAR 应该是首选的动脉瘤腔内修复术。总之, F-EVAR 并非完美术式。其局限性体现在三个方面: 首先是对齐精确度的依赖性, 极小的测量偏差即可导致严重的靶血管缺血; 其次是高昂的经济成本与时间成本(CMD 制备周期); 最后需要指出虽然该方法具有早期优势, 但 FEVAR 的后期再介入率仍然很高。未来需要展开大型的随机对照试验研究来验证 FEVAR 在 JAAA 中运用的安全性和有效性。

3.2. 分支支架技术(Branch Endovascular Aortic Repair, B-EVAR)

B-EVAR 是主体支架侧面带臂的支架系统, 分支支架本身与主体支架为一体, 主要用于重建开口于瘤体的分支动脉, 侧臂分支支架可位于主体支架内或主体支架外, 分支支架技术目前被视为胸腹主动脉瘤的腔内主流技术。以 Cook Zenith T-Branch 为代表的外分支产品(Outer Branch)要求靶血管与支架之间有足够的外展空间(通常要求主动脉直径 > 25 mm), 这使得许多伴有瘤颈狭窄、严重钙化的 JAAA 患者无法适用[23]。近年来以 E-nside (美国 Artivion 公司)为代表的内嵌分支(Inner Branch)技术的发展打破了这一僵局。通过将分支通道构建在主体支架内部(类似“裤兜”), 能够在不增加支架整体外径的前提下, 在复杂解剖的 JAAA 内完成插管与桥接[24]。

Zenith T-Branch 是目前全球应用最广泛的现成多分支支架。Gallitto 等[25]在 2024 年发表的多中心研究回顾了 T-Branch 在急诊 JAAA 中的应用, 结果显示, 对于瘤腔够大的患者, 使用 T-Branch 进行“超适应证”修复的技术成功率高达 96%, 且 30 天围手术期结局指标满意。这表明 T-Branch 在 JAAA 的急诊救治中展现出了其独特的“降维”优势。另一研究[26]也证实, 在既往 EVAR 术后发生近端失效的补救中, T-Branch 提供了一种替代的“现成解决方案”, 但其对于瘤体空间的严苛要求使其无法覆盖约 40% 的瘤颈直径较小的复杂 JAAA 患者; E-nside 则是 Inner Branch 的代表作, Squizzato 等[27]在 2025 年发表的最新研究报告 E-nside 治疗 JAAA 和肾周动脉瘤时, 由于其内嵌分支的设计极大地放宽了对瘤颈解剖的限制, 即便在主动脉直径 < 20 mm 的极窄瘤颈中, 术者也能通过预置导管系统顺利完成选管。Piazza 等[24]基于 INBREED 注册研究的数据指出, 内嵌分支支架在早期随访中的靶血管通畅率(98%)与 F-EVAR 相当, 笔者认为这可能由于分支支架与主体支架的重叠段位于流道内部, 理论上受主动脉搏动影响更小, 分支支架的稳定性及通畅性更佳; 而国产 G-Branch 支架(深圳先健科技公司)由 2 个内嵌分支和 2 个外翻分支组成, 其安全性和有效性已被多项临床研究结果所证实, 且已获得中国国家药品监督管理局(NMPA)批准上市, 展示了国产器械在复杂胸腹主动脉疾病治疗领域的突破[23] [28]。B.R.I.O.研究组[29]对内嵌分支(E-nside)与外分支(t-Branch)进行了直接对比。结果显示, 虽然内嵌分支组的手术时间显著缩短, 且透视剂量更低, 但是两者的技术成功率是相当的, 其短期临床结局并无显著性差异。未来需要更多的长期随访数据来验证二者的差异。不过 B-EVAR 也有其局限性, 主要体现在: (1) 技术难度大, 学习曲线长。(2)

输送系统剖面较大,对髂动脉入路要求较高。(3) 外分支支架必须要求瘤腔空间较宽。(4) 脊髓缺血风险较高,特别是覆盖较长节段主动脉时。总之,分支支架技术已不再局限于胸腹主动脉病变,对于解剖空间狭窄或急需手术的 JAAA 患者,或 EVAR 术后失效的补救这类临床场景中,以 E-nside 为代表的新型 B-EVAR 支架系统提供了一种既能媲美 F-EVAR 精准度,又具备便利性的新方案。

3.3. 平行支架技术(Parallel Grafts, PG)

平行支架技术(Parallel Grafts, PG)是涵盖烟囱技术(Chimney/ChEVAR)、潜望镜技术(Periscope)及三明治技术(Sandwich)等利用现成覆膜支架在瘤颈部构建并联血流通道的技术统称。其技术原理在于依靠主体支架的径向支撑力,将平行的内脏分支支架压向主动脉壁,从而将近端锚定区向上延伸至内脏动脉水平[30]。然而,这种物理构型存在天然的解剖学缺陷。Verlato 等[31]指出,主体支架、分支支架与主动脉壁之间不可避免地形成三角形间隙,即“沟槽”(Gutter)。这一通道是 IA 型内漏发生的解剖学基础。虽然部分低流速 Gutter 内漏具有血栓化自愈倾向,但其闭合程度高度依赖于主体支架的过大率(Oversizing)及分支支架的柔顺性。持续的高流速 Gutter 内漏不仅导致瘤囊持续扩张,更是远期破裂的潜在隐患,构成了该技术相对于开窗技术(F-EVAR)的主要劣势[31][32]。

但不可轻易否认其价值,特别是在急诊领域。2026 年 PEACE 注册研究[33]发布的数据表明,在破裂或症状性 JAAA 的救治中,ChEVAR 仍是需要紧急动脉瘤修复术的高风险患者的一种有价值的选择,其显著缩短了从诊断到瘤腔阻断的黄金时间,并且技术成功率及围手术期生存率均优于开放手术。同时,ChEVAR 技术学习路径更短,对那些规模较小的血管外科中心接诊急诊 JAAA 患者而言,不失为一种“性价比极高”的救命手段。

关于平行支架与开窗技术孰优一直是腔内治疗领域的争议点之一。一份纳入 9 项队列研究的 Meta 分析[34]报告:在择期手术中,FEVAR 在技术成功率和避免 I 型内漏方面显示出明显的统计学优势[34]。这一结果肯定了 FEVAR 作为择期手术的主流地位,但这份研究并没有确定二者的优劣性。传统观点认为平行支架的远期通畅率不如开窗支架,但最新的长期随访数据正在修正这种看法。PERICLES 注册研究[35]的 5 年长期随访(平均 46.6 个月)显示,ChEVAR 的靶血管通畅水平保持在 90% 以上。这一结果与 Kopp 等[36]在 2025 年的最新报告的观点是一致的,即便是解剖条件极差的急诊幸存者,其远期分支支架通畅率并未出现断崖式下跌。这表明平行支架的耐久性可以满足对中长期预后的要求。

因此,现有证据并不支持盲目排斥平行支架技术,其在特定临床场景下的非劣效性仍然是值得肯定的。但必须指出的是,平行支架技术的并发症谱仍需时刻警惕。Jernigan 等[37]的研究发现,由于烟囱支架通常需经上肢入路释放,导致主动脉弓斑块脱落和穿刺点血肿的风险会明显增加,其围手术期卒中发生率(约 2%~5%)高于常规 EVAR。此外,Koleilat 等[38]发现,相比于 PMEG,ChEVAR 术后因持续内漏而需二次干预的比例更高。而 PERICLES 等研究显示尽管其 5 年通畅率可接受,但在复杂解剖下的长期稳定性仍略逊色于 F-EVAR。相信未来通过充分的术前评估、严格掌握解剖适应症、优化支架定位、建立规范的重叠长度(Overlapping)和过大率(Oversizing)标准、开发专门的烟囱支架、联合使用腔内缝合修复术(Ch-ESAR)等措施,有望进一步拓展 Ch-EVAR 等平行支架技术的应用指征。

4. 腔内动脉瘤缝合术与腔内动脉瘤封闭术

近端瘤颈的密封与固定是决定 JAAA 腔内治疗远期预后的关键。面对近端锚定区不足的挑战,近年来腔内治疗领域衍生出了两种不同的技术哲学:一种是以腔内缝合术(Endosutured Aneurysm Repair, ESAR)为代表的“机械补强”,旨在强化现有的支架-血管界面;另一种是以腔内封闭术(Endovascular Aneurysm Sealing, EVAS)为代表的“囊袋填充”,试图重构传统的支架密封逻辑。

4.1. 腔内动脉瘤缝合术(Endosutured Aneurysm Repair, ESAR)

目前市面上唯一 ESAR 产品是 Heli-FX EndoAnchor 血管内锚定系统(美国 Medtronic 公司),其设计原理类似“订书机”的动作,通过将螺旋状的镍钛合金锚定钉穿透支架织物并旋入主动脉中膜与外膜,从而增强近端封闭效果,预防瘤颈扩张,减少 Ia 型内漏风险。ESAR 的出现从根本上改变了传统 EVAR 仅依赖径向支撑力和倒钩摩擦力的固定模式[39]。Qamhawi 等[40]的系统评价指出,这种“经血管壁固定(Transmural fixation)”能显著增加支架的抗拔脱力(Pull-out force),有效抵抗血流脉动产生的下移应力,从而处理复杂瘤颈或短瘤颈病例时将密封方式由“被动固定”转化为“主动锁定”。

Heli-FX EndoAnchor 系统最初设计出来多用于术中发生 IA 型内漏时的急救和覆膜支架的迁移[39]。最近 ANCHOR 注册研究[41]的 5 年随访数据表明,在这项针对 70 例短瘤颈患者的研究中,ESAR 展现了良好的中长期稳定性,5 年内仅 1.4% 的患者出现 IA 型内漏,且无一例发生支架断裂或主动脉穿孔。这一结果减少了临床人员关于锚钉可能损伤主动脉壁的担忧。PERU 注册研究[42]的中期结果显示,即便是在合并严重钙化或复杂解剖形态的“不良瘤颈”中,ESAR 仍能维持 97% 的技术成功率和优异的瘤囊回缩率(Sac regression),这提示 ESAR 或许能有效地促进瘤囊的生物学重塑。不过由于这两项研究样本量较少,对以上研究结果应该报以审慎的态度,未来还需要进行更大队列的随访。ESAR 在辅助其他腔内技术中的价值同样不可忽视,Hayson 等[43]报道了在 ChEVAR 联合 EndoAnchor (Ch-ESAR)使用的成功经验,证实其锚钉可有效消除平行支架间的“沟槽内漏”,从而为解决平行支架的耐久性问题提供了新思路。此外,ESAR 也可应用于胸主动脉瘤、主动脉弓部病变[44][45]的临床治疗中。不过 ESAR 亦有其局限性,主要表现在: 1. 无法解决极短瘤颈的问题,本质上 ESAR 只是一项补强的技术,它不能凭空创造健康的锚定区。2. 血管壁如果钙化严重,锚钉可能无法穿透导致固定失败。3. 锚钉移位,最近一项研究[45]报道其中期结局时出现 1 例患者延迟性内锚钉移至远端髂肢的并发症。

现有的研究展现了 ESAR 在腔内治疗领域的极大潜力,ESAR 在未来临床实践中的场景定位或许是血管外科医生亟需思考的问题。目前针对 ESAR 的研究主要集中于早中期的随访数据,长期随访数据较少,未来需要开展更大规模、具有前瞻性的随机对照试验(RCT)研究,并辅以长期的跟踪随访来深入地揭示其临床应用价值。可惜的是这项技术目前在我国应用还较少,并未广泛普及。

4.2. 腔内动脉瘤修复术(Endovascular Aneurysm Sealing, EVAS)

Table 1. Comparative analysis of endovascular techniques for JAAA

表 1. JAAA 不同腔内技术的对比

技术类型	技术原理	优势	局限性	临床场景
定制开窗 (CMD-FEVAR)	依据解剖定制开窗位置,将锚定区上移至内脏动脉水平	解剖匹配度完美;远期通畅率与密封性最佳	生产周期长(6~8周);费用昂贵;无法用于急诊	择期手术;解剖复杂且预期寿命较长的患者
平行支架 (ChEVAR)	利用现成覆膜支架与主体支架并行,构建“烟囱”式血流通道	即刻可用;技术门槛相对较低;适用解剖范围广	Gutter 内漏风险高;远期再次干预率高;卒中风险略高	急诊/破裂;无法获得 OTS 支架时的救命性治疗
内嵌分支 (IB-BEVAR)	预置内嵌式分支隧道 (Inner branch),无需增加支架外径	现成化(OTS);无需定制等待;内嵌设计适应狭窄瘤颈	操作流程复杂;学习曲线陡峭;需较大的输送系统	急诊/亚急诊;伴有瘤颈狭窄(<20 mm)的 JAAA
外分支 (OB-BEVAR)	预置外翻式分支 (Outer branch)	现成化(OTS);临床数据成熟;连接稳定性好	需较宽的瘤腔空间 (>25 mm);用于 JAAA 属超适应证	急诊/亚急诊;宽瘤腔且内脏血管位置标准的患者

续表

医生改制(PMEG)	术中在无菌台对标准支架进行手工开窗或缝制	兼顾“解剖定制”与“时效性”；成本相对较低	缺乏标准化质控；破坏原厂结构；存在无菌风险	急诊；解剖特殊且OTS支架不匹配的病例
腔内锚定(ESAR)	利用螺旋钉将支架织物穿透固定于主动脉壁	增加抗移位力；促进瘤颈重塑；预防远期瘤颈扩张	需配合 EVAR 使用；无法独立解决极短瘤颈(<4 mm)	边缘性瘤颈(7 mm~10 mm)；术中 IA 型内漏的补救

ESAR 的路线不同, EVAS 以 Nellix 系统(美国 Endologix 公司)为代表, 试图通过聚合物填充的内袋(Endobags)来填满瘤腔, 从而消除瘤颈解剖对密封的限制, 并理论上根除 II 型内漏。早期有研究者将其运用于 JAAA 的治疗[46]。然而随着随访时间的延长, EVAS 暴露出其致命的生物力学缺陷。Mathisen 与 Berge [47]在 2024 年发表的单中心长期随访报告显示, Nellix 支架在 5 年后的失效率高达 40% 以上, 主要表现为支架远端移位和主要支架与填充袋的分离。Singh 等[48]分析了这种失效的根源在于 EVAS 系统缺乏纵力, 随着主动脉瘤疾病的自然进程, 瘤体在填充物外围继续重塑、扩张, 导致原本紧密的“铸型”松动, 最终引发迟发性 IA 型内漏和瘤体持续扩张甚至破裂。目前, Nellix 系统已因高失效率而在全球范围内受到严格限制或甚至退市。

ESAR 凭借其“机械补强”作用确立了在边缘性短瘤颈(7 mm~10 mm)干预中的核心地位[49], 从而成为提升远期耐久性的利器; EVAS 的兴衰则警示, 任何技术革新均需建立在对主动脉病理生理规律的敬畏基础之上, 在追求技术创新的同时, 必须确保其符合最基本的力学稳定逻辑。

5. 总结与展望

随着腔内治疗理念的迭代升级与器械工艺的精进, 以 ChEVAR、F-EVAR、B-EVAR 为代表的多元化重建策略, 已在 JAAA 的治疗中确立了各自的生态位。然而, 现有的腔内解决方案并非无懈可击, 在面对诸如瘤体破裂、瘤颈极度扭曲或内脏动脉解剖变异等极端挑战时, 腔内器械仍然面临很多技术瓶颈。此外, 远期并发症的阴影挥之不去, 无论是顽固性内漏、支架移位引发的力学失效, 还是支架闭塞与感染风险, 均对临床实践构成了重大挑战。因此, 未来的学术和器械探索不应止步于技术可行性的验证, 而应通过多中心、大样本的循证研究, 进一步确认不同内脏动脉重建技术在 JAAA 修复中的安全性、有效性和耐久性。

参考文献

- [1] Ullery, B.W., Hallett, R.L. and Fleischmann, D. (2018) Epidemiology and Contemporary Management of Abdominal Aortic Aneurysms. *Abdominal Radiology*, **43**, 1032-1043. <https://doi.org/10.1007/s00261-017-1450-7>
- [2] Parodi, J.C., Palmaz, J.C., Barone, H.D., et al. (1991) Transfemoral Intraluminal Graft Implantation for Abdominal Aortic Aneurysms. *Annals of Vascular Surgery*, **5**, 491-499.
- [3] Ayari, R., Paraskevas, N., Rosset, E., Ede, B. and Branchereau, A. (2001) Juxtarenal Aneurysm. Comparative Study with Infrarenal Abdominal Aortic Aneurysm and Proposition of a New Classification. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **22**, 169-174. <https://doi.org/10.1053/ejvs.2001.1383>
- [4] Wanhainen, A., Van Herzele, I., Bastos Goncalves, F., et al. (2024) Editor's Choice: European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2024 Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-Iliac Artery Aneurysms. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **67**, 192-331. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2023.11.002>
- [5] Chaikof, E.L., Dalman, R.L., Eskandari, M.K., Jackson, B.M., Lee, W.A., Mansour, M.A., et al. (2018) The Society for Vascular Surgery Practice Guidelines on the Care of Patients with an Abdominal Aortic Aneurysm. *Journal of Vascular Surgery*, **67**, 2-77.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2017.10.044>
- [6] O'Donnell, T.F.X., Boitano, L.T., Deery, S.E., Schermerhorn, M.L., Schanzer, A., Beck, A.W., et al. (2020) Open versus

- Fenestrated Endovascular Repair of Complex Abdominal Aortic Aneurysms. *Annals of Surgery*, **271**, 969-977. <https://doi.org/10.1097/sla.0000000000003094>
- [7] Oderich, G.S., Farber, M.A., Schneider, D., Makaroun, M., Sanchez, L.A., Schanzer, A., *et al.* (2021) Final 5-Year Results of the United States Zenith Fenestrated Prospective Multicenter Study for Juxtarenal Abdominal Aortic Aneurysms. *Journal of Vascular Surgery*, **73**, 1128-1138.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2020.08.128>
- [8] Roy, I.N., Millen, A.M., Jones, S.M., Vallabhaneni, S.R., Scurr, J.R.H., McWilliams, R.G., *et al.* (2017) Long-Term Follow-Up of Fenestrated Endovascular Repair for Juxtarenal Aortic Aneurysm. *British Journal of Surgery*, **104**, 1020-1027. <https://doi.org/10.1002/bjs.10524>
- [9] Mastracci, T.M., Eagleton, M.J., Kuramochi, Y., Bathurst, S. and Wolski, K. (2015) Twelve-Year Results of Fenestrated Endografts for Juxtarenal and Group IV Thoracoabdominal Aneurysms. *Journal of Vascular Surgery*, **61**, 355-364. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2014.09.068>
- [10] Dossabhoy, S.S., Sorondo, S.M., Tran, K., Stern, J.R., Dalman, R.L. and Lee, J.T. (2022) Reintervention Does Not Affect Long-Term Survival after Fenestrated Endovascular Aneurysm Repair. *Journal of Vascular Surgery*, **76**, 1180-1188.e8. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2022.04.050>
- [11] Guérault, A.M., Bashir, A., Azhar, B., Budge, J., Roy, I., Loftus, I., *et al.* (2024) Long Term Outcomes and Durability of Fenestrated Endovascular Aneurysm Repair: A Meta-Analysis of Time to Event Data. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **67**, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2023.08.012>
- [12] de Niet, A., Zeebregts, C.J., Reijnen, M.M.P.J., Bungay, P., Pintar, D., Mylonas, S., *et al.* (2020) Outcomes after Treatment of Complex Abdominal Aortic Aneurysms with the Fenestrated Anaconda Endograft. *Journal of Vascular Surgery*, **72**, 25-35.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2019.08.283>
- [13] Pini, R., Giordano, J., Ferri, M., Palmieri, B., Solcia, M., Michelagnoli, S., *et al.* (2020) The Italian Multicentre Registry of Fenestrated Anaconda™ Endografts for Complex Abdominal Aortic Aneurysms Repair. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **60**, 181-191. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2020.04.032>
- [14] Abatzis-Papadopoulos, M., Tigkiropoulos, K., Nikas, S., Sidiropoulou, K., Alexou, C., Kostopoulou, O., *et al.* (2024) Endograft Anaconda in Endovascular Aneurysm Repair: A Systematic Review of Literature and Meta-Analysis. *Annals of Vascular Surgery*, **104**, 93-109. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2023.06.029>
- [15] Quiñones-Baldrich, W.J., Holden, A., Mertens, R., Thompson, M.M., Sawchuk, A.P., Becquemin, J., *et al.* (2013) Prospective, Multicenter Experience with the Ventana Fenestrated System for Juxtarenal and Pararenal Aortic Aneurysm Endovascular Repair. *Journal of Vascular Surgery*, **58**, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2012.12.065>
- [16] Farber, M.A., Eagleton, M.J., Mastracci, T.M., McKinsey, J.F., Vallabhaneni, R., Sonesson, B., *et al.* (2017) Results from Multiple Prospective Single-Center Clinical Trials of the Off-the-Shelf P-Branch Fenestrated Stent Graft. *Journal of Vascular Surgery*, **66**, 982-990. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2017.01.068>
- [17] Gao, J., Wang, C., Zhang, H., Wang, L. and Guo, W. (2025) Anatomic Feasibility of the Weflow-JAAA Endograft System for Treating Juxtarenal and Pararenal Abdominal Aortic Aneurysms. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 39818. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-23485-y>
- [18] Wang, C., Gao, J., Zhang, H., Zhang, X., Jiang, J., Dai, X., *et al.* (2026) Early Outcome of WeFlow-JAAA Off-the-Shelf Endograft in the Treatment of Juxtarenal/Pararenal Abdominal Aortic Aneurysms. *Annals of Vascular Surgery*, **122**, 187-193. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2025.06.007>
- [19] Ou, J., Chan, Y.C. and Cheng, S.W. (2015) A Systematic Review of Fenestrated Endovascular Repair for Juxtarenal and Short-Neck Aortic Aneurysm: Evidence So Far. *Annals of Vascular Surgery*, **29**, 1680-1688. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2015.06.074>
- [20] Varkevisser, R.R.B., O'Donnell, T.F.X., Swerdlow, N.J., Liang, P., Li, C., Ultee, K.H.J., *et al.* (2019) Fenestrated Endovascular Aneurysm Repair Is Associated with Lower Perioperative Morbidity and Mortality Compared with Open Repair for Complex Abdominal Aortic Aneurysms. *Journal of Vascular Surgery*, **69**, 1670-1678. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2018.08.192>
- [21] Vallabhaneni, S.R., Patel, S.R., Campbell, B., Boyle, J.R., Cook, A., Crosher, A., *et al.* (2024) Editor's Choice—Comparison of Open Surgery and Endovascular Techniques for Juxtarenal and Complex Neck Aortic Aneurysms: The UK Complex Aneurysm Study (UK-COMPASS)—Peri-Operative and Midterm Outcomes. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **67**, 540-553. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2024.02.037>
- [22] Wanhainen, A., *et al.* (2019) Editor's Choice—European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2019 Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-Iliac Artery Aneurysms. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **57**, 8-93.
- [23] Zhang, H.P., Ge, Y.Y., Wang, J.B., Fan, T.T. and Guo, W. (2024) Off the Shelf Multibranch Endograft for Thoraco-Abdominal and Pararenal Abdominal Aortic Aneurysms: A Prospective, Single Centre Study of the G-Branch Endograft. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **67**, 417-425. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2023.11.005>

- [24] Piazza, M., Squizzato, F., Pratesi, G., Tshomba, Y., Gaggiano, A., Gatta, E., *et al.* (2023) Editor's Choice—Early Outcomes of a Novel off the Shelf Preloaded Inner Branch Endograft for the Treatment of Complex Aortic Pathologies in the Italian Branched Registry of E-Nside Endograft (INBREED). *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **65**, 811-817. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2023.02.076>
- [25] Gallitto, E., Faggioli, G., Austermann, M., *et al.* (2024) Urgent Endovascular Repair of Juxtarenal/Pararenal Aneurysm by Off-the-Shelf Multibranch Endograft. *Journal of Vascular Surgery*, **80**, 1336-1349.e4.
- [26] Eleshra, A., Oderich, G.S., Spanos, K., Panuccio, G., Kärkkäinen, J.M., Tenorio, E.R., *et al.* (2020) Short-Term Outcomes of the T-Branch Off-the-Shelf Multibranch Stent Graft for Reintervention after Previous Infrarenal Aortic Repair. *Journal of Vascular Surgery*, **72**, 1558-1566. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2020.02.012>
- [27] Squizzato, F., Piazza, M., Isernia, G., Pratesi, G., Gatta, E., Ferri, M., *et al.* (2025) Use of an off the Shelf Inner Branch Thoraco-Abdominal Endograft for the Treatment of Juxtarenal and Pararenal Aortic Aneurysms. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **69**, 837-845. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2025.02.030>
- [28] Guo, W., Sun, G., Zhang, H., *et al.* (2025) The G-Branch Off-the-Shelf Mixed Branch Endograft for Thoracoabdominal Aortic Aneurysm: 1-Year Results from a Prospective Multicenter Study. *International Journal of Surgery*. <https://doi.org/10.1097/JS9.0000000000003243>
- [29] Piazza, M., Squizzato, F., Pratesi, G., Parlani, G., Simonte, G., Giudice, R., *et al.* (2024) Editor's Choice—Outcomes of off the Shelf Outer Branched versus Inner Branched Endografts in the Treatment of Thoraco-Abdominal Aortic Aneurysm in the B.R.I.O. (BRanched Inner-Outer) Study Group. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **68**, 50-59. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2024.04.005>
- [30] Menegolo, M., Xodo, A., PENZO, M., piazza, M., Squizzato, F., Colacchio, E.C., *et al.* (2021) Open Repair versus EVAR with Parallel Grafts in Patients with Juxtarenal Abdominal Aortic Aneurysm Excluded from Fenestrated Endografting. *The Journal of Cardiovascular Surgery*, **62**, 483-495. <https://doi.org/10.23736/s0021-9509.21.11833-6>
- [31] Verlato, P., Foresti, L., Bloemert-Tuin, T., Trimarchi, S., Hazenberg, C.E.V.B. and van Herwaarden, J.A. (2024) Long-term Outcomes of Chimney Endovascular Aneurysm Repair Procedure for Complex Abdominal Aortic Pathologies. *Journal of Vascular Surgery*, **80**, 612-620. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2024.03.448>
- [32] Zlatanovic, P., Jovanovic, A., Tripodi, P. and Davidovic, L. (2022) Chimney vs. Fenestrated Endovascular vs. Open Repair for Juxta/Pararenal Abdominal Aortic Aneurysms: Systematic Review and Network Meta-Analysis of the Medium-Term Results. *Journal of Clinical Medicine*, **11**, Article No. 6779. <https://doi.org/10.3390/jcm11226779>
- [33] Karelis, A., *et al.* (2025) Parallel Endografting and Chimney Endovascular (PEACE) Registry Outcomes in Emergency Repair of Complex Abdominal Aortic Aneurysms. *British Journal of Surgery*, **113**, znaf278.
- [34] Baldeh, T., Reilly, T., Mansoor, T., Feeney, G., Medani, M., Moloney, M.A., *et al.* (2024) Systematic Review and Meta-Analysis of Fenestrated and Chimney/Snorkel Techniques for Endovascular Repair of Juxtarenal Aortic Aneurysms. *Journal of Endovascular Therapy*, **32**, 1836-1845. <https://doi.org/10.1177/15266028241231171>
- [35] Taneva, G.T., Lee, J.T., Tran, K., Dalman, R., Torsello, G., Fazzini, S., *et al.* (2021) Long-Term Chimney/Snorkel Endovascular Aortic Aneurysm Repair Experience for Complex Abdominal Aortic Pathologies within the PERICLES Registry. *Journal of Vascular Surgery*, **73**, 1942-1949. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2020.10.086>
- [36] Kopp, R., Stachowski, L., Puipe, G., Zimmermann, A. and Menges, A. (2025) Long-Term Outcomes of Endovascular Aortic Repair with Parallel Chimney or Periscope Stent Grafts for Ruptured Complex Abdominal Aortic Aneurysms. *Journal of Clinical Medicine*, **14**, Article No. 234. <https://doi.org/10.3390/jcm14010234>
- [37] Jernigan, E.G., Nguyen Tran, N., Qato, K., Giangola, G., Carroccio, A. and Conway, A.M. (2021) Outcomes of Chimney/Snorkel Endovascular Repair for Symptomatic and Ruptured Abdominal Aortic Aneurysms. *Journal of Vascular Surgery*, **74**, 1117-1124. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2021.03.025>
- [38] Koleilat, I., Nussenblatt, B., Freidmann, P., Lipsitz, E. and Indes, J. (2022) Physician-Modified Endografts versus Chimney/Snorkel for Ruptured and Symptomatic Juxtarenal and Paravisceral Aneurysms in the Vascular Quality Initiative. *Annals of Vascular Surgery*, **82**, 249-257. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2021.10.062>
- [39] Jordan, W.D., Mehta, M., Varnagy, D., Moore, W.M., Arko, F.R., Joye, J., *et al.* (2014) Results of the ANCHOR Prospective, Multicenter Registry of Endoanchors for Type Ia Endoleaks and Endograft Migration in Patients with Challenging Anatomy. *Journal of Vascular Surgery*, **60**, 885-892.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2014.04.063>
- [40] Qamhawi, Z., Barge, T.F., Makris, G.C., Patel, R., Wigham, A., Anthony, S., *et al.* (2020) Editor's Choice—Systematic Review of the Use of Endoanchors in Endovascular Aortic Aneurysm Repair. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **59**, 748-756. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2020.02.008>
- [41] Arko, F.R., Pearce, B.J., Henretta, J.P., Fugate, M.W., Torsello, G., Panneton, J.M., *et al.* (2023) Five-Year Outcomes of Endosuture Aneurysm Repair in Patients with Short Neck Abdominal Aortic Aneurysm from the ANCHOR Registry. *Journal of Vascular Surgery*, **78**, 1418-1425.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2023.07.058>
- [42] Reyes Valdivia, A., Oikonomou, K., Milner, R., Pitoulias, A., Reijnen, M.M.P.J., Pfister, K., *et al.* (2024) Endosutured

- Aneurysm Repair of Abdominal Aortic Aneurysms with Short Necks Achieves Acceptable Midterm Outcomes—Results from the Peru Registry. *Annals of Vascular Surgery*, **106**, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2024.01.002>
- [43] Hayson, A., Hallak, A., Moon, D., Money, S., Sternbergh, W.C. and Brinster, C. (2022) Successful Treatment of a Persistent Type IA Endoleak with Endoanchors Following Chimney Endovascular Aortic Repair. *Journal of Vascular Surgery Cases, Innovations and Techniques*, **8**, 854-858. <https://doi.org/10.1016/j.jvscit.2022.10.018>
- [44] de Beaufort, H.W.L., Lovato, L., Valdivia, A.R., Kratimenos, T., Rossi, G., Rousseau, H., *et al.* (2020) Preoperative Planning for Endoanchor Use during Thoracic Endovascular Aortic Repair in the Distal Aortic Arch. *Journal of Endovascular Therapy*, **28**, 295-299. <https://doi.org/10.1177/1526602820963865>
- [45] Abdel-Hadi, O., Zhong, J., Tingerides, C., Shaw, D., McPherson, S., Puppala, S., *et al.* (2023) Midterm Outcomes of Primary and Secondary Use of an Endoanchor System for Thoracic and Abdominal Aortic Endovascular Aortic Repair. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, **34**, 1938-1945. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2023.08.004>
- [46] Psacharopulo, D., Ferri, M., Ferrero, E., Bahia, S.S., Viazzo, A., Pecchio, A., *et al.* (2017) Comparison of Outcomes for Short-Neck and Juxtarenal Aortic Aneurysms Treated with the Nellix Endograft versus Conventional Endovascular Aneurysm Sealing. *Journal of Vascular Surgery*, **66**, 1371-1378. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2017.03.444>
- [47] Mathisen, S.R. and Berge, S.T. (2024) A Single Centre Long Term Follow up of the Nellix Endovascular Aneurysm Sealing System. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **67**, 747-753. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2023.11.010>
- [48] Singh, A.A., Benaragama, K.S., Pope, T., Coughlin, P.A., Winterbottom, A.P., Harrison, S.C., *et al.* (2021) Progressive Device Failure at Long Term Follow up of the Nellix Endovascular Aneurysm Sealing (EVAS) System. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **61**, 211-218. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2020.11.004>
- [49] Bordet, M., Oliny, A., Miasumu, T., Tresson, P., Lermusiaux, P., Della Schiava, N., *et al.* (2023) Endosuture Aneurysm Repair versus Fenestrated Aneurysm Repair in Patients with Short Neck Abdominal Aortic Aneurysm. *Journal of Vascular Surgery*, **77**, 28-36.e3. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2022.08.035>