

引用格式:王科委,何健,梅菲. 小腹主动脉瘤的生长预测及治疗研究进展[J]. 巴楚医学, 2026, 9(3): 116-121. DOI: 10. 3969/j. issn. 2096-6113. 2026. 03. 018

Cite as: Wang Kewei, He Jian, Mei Fei. Growth Prediction and Treatment Advances of Small Abdominal Aortic Aneurysms[J]. Bachu Medical Journal, 2026, 9(3): 116-121. DOI: 10. 3969/j. issn. 2096-6113. 2026. 03. 018

小腹主动脉瘤的生长预测及治疗研究进展

王科委^{1,2,3} 何健^{1,2,3} 梅菲^{1,2,3}

(1. 三峡大学附属中心人民医院[宜昌市中心人民医院] 血管外科, 湖北 宜昌 443003; 2. 缺血性心血管病湖北省重点实验室, 湖北 宜昌 443003; 3. 湖北省缺血性心血管疾病临床医学研究中心, 湖北 宜昌 443003)

摘要:随着老年人口增加,腹主动脉瘤(AAA)发病率逐年升高,小腹主动脉瘤(sAAA)虽多无明显症状,但仍存在致命破裂风险,sAAA的生长预测和治疗措施是目前的研究重点。因国内外人群腹主动脉解剖特征存在差异,sAAA直径界定标准具有地域区别,这增加了临床评估的复杂性。近年来,sAAA的生长预测不再局限于瘤体直径,通过研究其分子影像学、血流动力学、瘤体形态学和生物力学,共同为生长风险评估提供精准依据。sAAA的治疗以动态监测与风险控制为核心,包括基于瘤体大小制定的随访方案和以戒烟为核心的生活方式干预。药物治疗在延缓瘤体进展方面尚未达成共识,干细胞调控、活性物质干预及载药器械等新型手段,可能为突破治疗瓶颈提供新方向。

关键词:小腹主动脉瘤; 生长预测; 治疗

中图分类号: R543.1

文献标志码: A

文章编号: 2096-6113(2026)03-0116-06

Growth Prediction and Treatment Advances of Small Abdominal Aortic Aneurysms

Wang Kewei^{1,2,3} He Jian^{1,2,3} Mei Fei^{1,2,3}

(1. Department of Vascular Surgery, Yichang Central People's Hospital, Affiliated Central People's Hospital, China Three Gorges University, Yichang 443003, China; 2. Hubei Key Laboratory of Ischemic Cardiovascular Disease, Yichang 443003, China; 3. Hubei Provincial Clinical Research Center for Ischemic Cardiovascular Disease, Yichang 443003, China)

Abstract With the increase of the elderly population, the incidence of abdominal aortic aneurysm (AAA) is increasing year by year. Although small abdominal aortic aneurysm (sAAA) is mostly asymptomatic, it still has a risk of fatal rupture. The growth prediction and treatment measures of sAAA are the current research focuses. Due to the differences in abdominal aortic anatomical characteristics among populations at home and abroad, the diameter definition criteria of sAAA have regional differences, which increases the complexity of clinical evaluation. In recent years, the growth prediction of sAAA is no longer limited to the aneurysm diameter. Through the research on its molecular imaging, hemodynamics, aneurysm morphology and biomechanics, providing an accurate basis for growth risk assessment. The treatment of sAAA focuses on dynamic monitoring and risk control, including follow-up plans based on aneurysm size and lifestyle intervention centered on smoking cessation. Consensus has not been reached on drug therapy in delaying

基金项目:湖北省卫生健康科技项目(WJ2025M048)

作者简介:王科委,主治医师,E-mail: williamwkw@163.com

通信作者:梅菲,副主任医师,E-mail: meifeimeifei1986@126.com

aneurysm progression. New methods such as stem cell regulation, active substance intervention and drug-loaded devices may provide new directions for breaking through the treatment bottleneck.

Keywords small abdominal aortic aneurysm (sAAA); growth prediction; treatment

腹主动脉瘤(abdominal aortic aneurysm, AAA)是指腹主动脉直径增大达到或超过正常直径的50%,临床上腹主动脉直径 ≥ 3 cm即被认为是AAA。主要见于高龄男性患者,随着我国老年人口的不断增加,AAA的发病率也在逐年升高。流行病学研究显示^[1-2],全球30~79岁人群中AAA的发病率为0.92%,在60岁之前其发病率较低,而60岁以上的AAA患者中男性比例超80%。小腹主动脉瘤(small abdominal aortic aneurysm, sAAA)国外指南定义为AAA直径:男性 <5.5 cm,女性 <5.0 cm^[3],国内人群的腹主动脉平均直径比欧美人群小约5 mm^[4],结合国内专家共识推荐AAA手术适应证的直径阈值为:男性5.0 cm,女性4.5 cm^[5],故认为中国人群的sAAA定义为AAA直径(男性 <5.0 cm,女性 <4.5 cm)。

sAAA的发病机制复杂,研究显示^[6-8],AAA的发病机制主要包括炎症驱动、血流动力学紊乱及血管壁结构破坏,各机制间相互作用,共同促进sAAA的形成与进展(图1)。

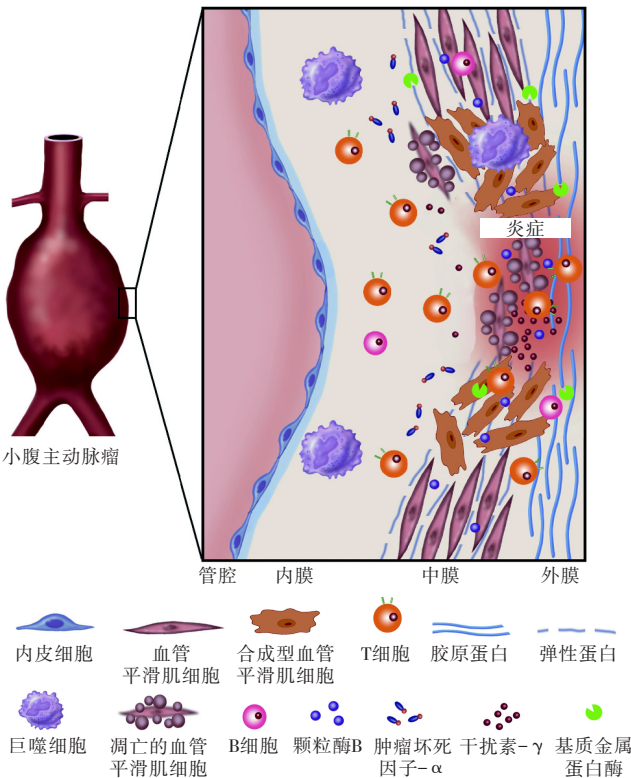


图1 腹主动脉瘤的发病机制

炎症是sAAA发病的启动与进展因素,炎症过程中单核细胞趋化蛋白-1(monocyte chemoattrac-

tant protein-1, MCP-1)与C-C趋化因子受体2(C-C chemokine receptor 2, CCR2)的特异性结合发挥关键调控作用^[6]。血流动力学紊乱通过损伤瘤壁的内皮细胞,促进炎症因子释放,加速sAAA生长^[7]。主动脉壁的结构完整性依赖于血管平滑肌细胞的增殖与分化,以及细胞外基质的合成与降解平衡,前两者的失衡是sAAA形成的关键病理基础^[8]。吸烟、男性、老年患者被认为是sAAA的重要危险因素,其他危险因素包括高血压、高脂血症、冠状动脉疾病和家族史等^[9],这些因素通过调控前述病理机制,影响sAAA的发生与进展。目前关于sAAA治疗方案主要是随访观察、养成良好的生活习惯和药物保守治疗。然而sAAA仍存在破裂风险,仅依靠瘤体的最大直径无法准确预测病情进展,为此一些学者提出包括分子影像学预测、血流动力学预测、瘤体形态学预测和生物力学预测在内的新技术新方法,致力于精准预测sAAA的进展和破裂风险。

1 sAAA的生长预测评估

依赖sAAA的直径进行风险评估存在不足。当前指南考量了多种因素,包括AAA的最大直径、扩张速度、症状及其他风险因素以制定治疗策略,但最常用的评判标准仍为最大直径^[3]。尽管AAA最大直径与破裂风险之间存在明确关联,但并非所有AAA的扩张速度都一致,风险也并不相同^[10-11]。仅依靠直径无法精准预测AAA的病情进展;体积小但处于生长状态的动脉瘤仍可能存在破裂风险;反之,体积大或快速生长的动脉瘤也未必一定需要立即进行手术干预^[12]。

一项美国临床数据研究^[13]对2011—2018年接受破裂AAA治疗的患者进行了评估,结果发现约有10%的患者就诊时AAA属于小型(女性AAA平均直径为4.1 cm,男性为4.5 cm)。这一结果与美国2020年AAA破裂患者治疗数据相似^[14],数据显示,12%的AAA在较小直径时就发生了破裂。这些数据表明有相当数量的sAAA患者因破裂接受了紧急治疗,因此预测sAAA瘤体的特异性被认为是sAAA患者个体化管理策略中急需发展的技术,这要求我们超越单纯依赖直径的模式,采用更细致、更具个体化的方法。

1.1 分子影像学预测

炎症是 sAAA 生长的核心驱动机制,而 MCP-1/CCR2 轴是瘤壁炎症细胞浸润与活化的关键通路,其表达水平可直接反映炎症活性,进而预测生长风险^[6]。有研究者采用锝-99m 标记的 CCR2 特异性配体,通过单光子发射计算机断层扫描(single-photon emission computed tomography, SPECT)对 sAAA 患者(平均直径 40 mm)进行成像分析^[15],结果显示 sAAA 瘤体部位锝-99m 标记均值显著高于左心室与正常主动脉段。这一发现表明,CCR2 受体表达量有助于量化瘤壁炎症活性。通过 SPECT 成像追踪 CCR2 表达变化,可早期识别“炎症激活型 sAAA”,为 sAAA 生长预测提供了分子层面的新靶点。未来仍需大样本研究以验证 CCR2 表达与生长速率的量化关联。

1.2 血流动力学预测

瘤体局部的血流动力学异常是 sAAA 进展的关键诱因。计算流体动力学(computational fluid dynamics, CFD)通过模拟 sAAA 患者的血流动力学以预测 sAAA 的生长情况^[16-17]。最新相关研究^[18]采用了 80 例 sAAA 患者的影像学数据,患者间隔一年行两次计算机断层扫描血管造影(computed tomography angiography, CTA)检查。基于快速生长型(>5 mm/年)或缓慢生长型(<5 mm/年)的 sAAA 患者 CTA 数据,构建 AAA 模型并进行 CFD 模拟。模拟过程中采用两种模型:层流模拟模型和大涡模拟模型。获取的血流动力学参数包括瘤内血流稳定性、血流速度变化和血管壁面剪切应力。这些参数结合患者健康信息可有效将 sAAA 分为缓慢生长型和快速生长型,两种模型的总准确率相同,均为 84.0%。其中层流模拟计算成本更低、操作更简便,在临床应用中可优先选择。

1.3 瘤体形态学预测

瘤体形态是临床上最易获取的预测指标,其中以最大横向直径(maximum transverse diameter, MTD)最为常用,是临床上评估 AAA 破裂风险及监测疾病进展的标准^[3]。但也有研究指出^[19],仅通过单一维度的直径变化追踪疾病进展,无法捕捉 AAA 近段或远段的形态变化,且对于扭曲或囊状(偏心性)的 AAA,MTD 可能无法充分反映其解剖结构,此时结合体积、曲折度两个指标则能更好地描述其形态,评估其风险。有研究通过对 250 例 sAAA(直径 3.5~5.0 cm)患者进行 2 年随访,结果显示,基线体积、基线 MTD 及基线曲折度均与生长速率呈正相关^[20]。其中基线体积可解释 30% 的 sAAA 的生长

变异,基线 MTD 为 13%,基线曲折度为 8%。协同分析体积、MTD 与曲折度三种数据可提供更全面 sAAA 生长风险信息,提升预测精准度。

1.4 生物力学预测

瘤壁弹性减退被认为是导致 AAA 生长、破裂的重要生物力学因素^[21]。通过不同类型的成像技术可以评估该力学特性,超声作为一种便捷的方法已在测量 sAAA 直径和生物力学特性方面展示了其可行性^[22]。有学者采用一种新型超声即二维斑点追踪成像技术(two-dimensional speckle tracking imaging, 2D-STI)记录 AAA 壁的形变(即纵向应变)来评估其生物力学特性^[23],该研究显示,与 sAAA 组相比,大 AAA 组的前壁纵向应变(anterior wall longitudinal strain, ALS)和后壁纵向应变(posterior wall longitudinal strain, PLS)显著降低,且不受其他因素(如年龄、合并疾病、附壁血栓)的影响,ALS 和 PLS 与 MTD 呈负相关。2D-STI 技术不仅方便,而且无创,对 sAAA 生长、破裂的预测有较大价值。

2 sAAA 治疗策略

2.1 观察随访

sAAA 患者需定期随访,指南建议^[3]:对于直径 30~39 mm 的 sAAA 患者每 3 年检查一次直径变化;男性直径 40~49 mm、女性直径 40~45 mm 的患者每年检查;男性直径大于 50 mm、女性直径大于 45 mm 的患者每 6 个月检查一次并考虑是否手术。

2.2 改变生活方式

吸烟是 AAA 的重要危险因素,AAA 的发生和破裂都与吸烟呈正相关^[24],在女性患者中,其相关性更高^[25]。研究显示^[26],戒烟能使 AAA 的生长速度降低约 20%,同时还能将 AAA 的破裂风险减半。吸烟是 sAAA 生长和破裂最重要的可改变因素,指南建议 sAAA 患者接受戒烟帮助以降低风险^[3]。

规律的有氧运动并不能降低 AAA 的增长和破裂风险,但是当前没有研究提示运动对 sAAA 患者有害,相反,运动对患者的整体健康具有积极影响^[27]。一项随机对照研究显示^[28],对于 sAAA 的患者而言,运动是安全的,长达三年的运动训练并未影响 sAAA 的增大速度,所以不建议阻止这类患者进行有氧运动。最新指南不推荐对直径小于 70 mm 的 AAA 患者限制运动或性生活^[3]。

目前,针对已达手术指征的 AAA 患者开展运动干预的研究尚不充分,故对此类人群进行剧烈体育活动应持审慎态度^[29]。

2.3 药物治疗

2.3.1 他汀类药物

他汀类药物可能有助于延缓 AAA 的增长速率、降低破裂风险^[30]。一项针对 sAAA 患者使用他汀类药物治疗的荟萃分析发现^[31],使用他汀类药物的患者动脉瘤生长速率明显降低。但目前缺乏大样本随机对照研究,该药物的作用并未得到广泛认可。

2.3.2 抗血小板药物

抗血小板药物可减轻 AAA 附壁血栓的厚度和范围,而腔内附壁血栓的力学保护作用常被其生化破坏作用所抵消,导致动脉壁变薄,进而使 AAA 增大^[32]。一项关于 AAA 患者抗血小板药物与安慰剂的随机对照研究显示,两组患者的 AAA 生长速率并无明显差异^[33]。

2.3.3 降压药物

血压控制不佳会增加 sAAA 患者的血管壁压力,可能增加其他生长速率和破裂风险,因此控制血压或许可以减缓 sAAA 的进展,然而尚无研究证实这一假设。一项随机对照研究评估培哚普利、氨氯地平及安慰剂在 sAAA 患者中的作用,尽管在培哚普利组和氨氯地平组中均观察到血压下降,但在 2 年随访期间,三组患者的瘤体增长率并无差异^[34]。另一项随机对照研究发现^[35],使用普萘洛尔的 sAAA 患者,瘤体生长速度并未降低,且在治疗组中发现了更多的副作用。

2.3.4 降糖药物

糖尿病被认为是一个重要的心血管疾病危险因素,但糖尿病与 AAA 的相关性研究显示,糖尿病对 AAA 具有一定的保护作用,尽管糖尿病患者有更严重的血管并发症,但他们的 AAA 生长速率降低了 35% 以上^[36]。也有研究认为^[37],糖尿病与 AAA 呈负相关可能与降糖药的使用有关,二甲双胍可能具有抑制 AAA 生长的作用。

2.3.5 新型药物

新型药物是当前 AAA 治疗的研究热点。研究显示^[38],慢性炎症是 AAA 的病理基础,而同种异体和自体间充质干细胞可以减少诱导产生慢性炎症的相关因子,最终改善瘤体的扩张。另有研究显示^[39],五没食子酰葡萄糖可与腹主动脉壁内弹性蛋白和胶原蛋白结合,从而增加动脉壁强度并减少酶降解,最终降低瘤体的生长速率。在此基础上,有研究纳入 20 例肾下型 sAAA 患者,使用特制载药球囊导管贴附瘤壁,术后 12 个月随访显示所有患者直径生长均 $< 5 \text{ mm}$ ^[40]。

3 小结与展望

sAAA 存在破裂风险,依靠直径来评估其风险存在一定局限性,目前医学界正致力于通过分子影像、血流动力学分析、形态学评估和生物力学检测等多维度手段,建立个体化的风险预测模型,以实现 sAAA 生长和破裂风险的精准预测。对 sAAA 的治疗,当前暂无确切有效的治疗性药物,主要策略仍为定期随访、戒烟以及控制危险因素。随着医学技术的不断发展,新技术新药物的发展验证,将进一步优化 sAAA 的治疗管理策略,另外,未来还需要开展多中心大样本前瞻性研究,明确不同直径、不同形态 sAAA 的生长规律差异,为个体化风险预测模型的优化提供更全面的数据支撑,最终提高患者生活质量,改善患者预后。

参考文献:

- [1] Song P G, He Y Z, Adeyoye D, et al. The global and regional prevalence of abdominal aortic aneurysms: a systematic review and modeling analysis[J]. *Ann Surg*, 2023, 277(6): 912-919.
- [2] 辛世杰, 张珈玮, 张健, 等. 单中心近 10 年腹主动脉瘤 1246 例流行病学研究[J]. *中国实用外科杂志*, 2021, 41(12): 1384-1393.
- [3] Wanhainen A, Van Herzele I, Bastos Goncalves F, et al. Editor's choice—European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2024 clinical practice guidelines on the management of abdominal aorto-iliac artery aneurysms [J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2024, 67(2): 192-331.
- [4] Hu J, Zheng Z F, Zhou X T, et al. Normal diameters of abdominal aorta and common iliac artery in middle-aged and elderly Chinese Han people based on CTA[J]. *Medicine*, 2022, 101(31): e30026.
- [5] 张韬, 郭伟. 腹主动脉瘤诊断和治疗中国专家共识 (2022 版)[J]. *中国实用外科杂志*, 2022, 42(4): 380-387.
- [6] Anaya-Ayala J E, Escamilla-Tilch M, Granados J, et al. Investigation of an immunogenetic profile in patients with abdominal aortic aneurysms and possible applications in screening and surveillance[J]. *Ann Vasc Surg*, 2020, 62: 57-62.
- [7] Meyrignac O, Bal L, Zadro C, et al. Combining volumetric and wall shear stress analysis from CT to assess risk of abdominal aortic aneurysm progression [J]. *Radiology*, 2020, 295(3): 722-729.
- [8] Lindquist Liljeqvist M, Bogdanovic M, Siika A, et al.

- Geometric and biomechanical modeling aided by machine learning improves the prediction of growth and rupture of small abdominal aortic aneurysms [J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 18040.
- [9] Golledge J, Thanigaimani S, Powell J T, et al. Pathogenesis and management of abdominal aortic aneurysm[J]. *Eur Heart J*, 2023, 44(29): 2682-2697.
- [10] Spanos K, Eckstein H H, Giannoukas A D. Small abdominal aortic aneurysms are not all the same[J]. *Angiology*, 2020, 71(3): 205-207.
- [11] Olson S L, Wijesinha M A, Panthofer A M, et al. Evaluating growth patterns of abdominal aortic aneurysm diameter with serial computed tomography surveillance[J]. *JAMA Surg*, 2021, 156(4): 363-370.
- [12] Niklas N, Gutowski P, Kazimierczak A, et al. Abdominal aortic aneurysm morphology as an essential criterion for stratifying the risk of aneurysm rupture[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(4): 933.
- [13] Bellamkonda K S, Nassiri N, Sadeghi M M, et al. Characteristics and outcomes of small abdominal aortic aneurysm rupture in the American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program database[J]. *J Vasc Surg*, 2021, 74(3): 729-737.
- [14] Bellamkonda K S, Zogg C, Nassiri N, et al. Characteristics and 1-year outcomes of patients with rupture of small abdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2023, 77(6): 1649-1657.
- [15] Anaya-Ayala J E, Galicia-Vega B J, Mejia-Cervantes J, et al. Analysis of small abdominal aortic aneurysms with the radiotracer technetium-99m-6-hydrazinyl nicotinoyl-C-C-chemokine receptor-2 ligand (^{99m}Tc-HYNIC-CCR2-L) with single-photon emission computed tomography [J]. *Pol J Radiol*, 2024, 89: e541-e548.
- [16] Rezaeitaleshmahalleh M, Sunderland K W, Lyu Z H, et al. Computerized differentiation of growth status for abdominal aortic aneurysms; a feasibility study[J]. *J Cardiovasc Transl Res*, 2023, 16(4): 874-885.
- [17] Rezaeitaleshmahalleh M, Mu N, Lyu Z H, et al. Radiomic-based textural analysis of intraluminal thrombus in aortic abdominal aneurysms; a demonstration of automated workflow[J]. *J Cardiovasc Transl Res*, 2023, 16(5): 1123-1134.
- [18] Rezaeitaleshmahalleh M, Lyu Z H, Mu N, et al. Computational hemodynamics-based growth prediction for small abdominal aortic aneurysms; laminar simulations versus large eddy simulations [J]. *Ann Biomed Eng*, 2024, 52(11): 3078-3097.
- [19] Kouvelos G, Volakakis G, Dakis K, et al. The role of aortic volume in the natural history of abdominal aortic aneurysms and post-endovascular aortic aneurysm repair surveillance[J]. *J Clin Med*, 2023, 13(1): 193.
- [20] Olson S L, Panthofer A M, Blackwelder W, et al. Role of volume in small abdominal aortic aneurysm surveillance[J]. *J Vasc Surg*, 2022, 75(4): 1260-1267.
- [21] Qiao M L, Li Y L, Yan S, et al. Modulation of arterial wall remodeling by mechanical stress: focus on abdominal aortic aneurysm[J]. *Vasc Med*, 2025, 30(2): 238-249.
- [22] Mantella L E, Chan W, Bisleri G, et al. The use of ultrasound to assess aortic biomechanics; implications for aneurysm and dissection [J]. *Echocardiography*, 2020, 37(11): 1844-1850.
- [23] Ning H X, Liu X Z, Ma C Y, et al. The evaluation of longitudinal strain of large and small abdominal aortic aneurysm by two-dimensional speckle-tracking ultrasound[J]. *J Ultrasound Med*, 2022, 41(5): 1085-1093.
- [24] Accarino G, Giordano A N, Falcone M, et al. Abdominal aortic aneurysm; natural history, pathophysiology and translational perspectives [J]. *Transl Med UniSa*, 2022, 24(2): 30-40.
- [25] Stackelberg O, Björck M, Larsson S C, et al. Sex differences in the association between smoking and abdominal aortic aneurysm[J]. *Br J Surg*, 2014, 101(10): 1230-1237.
- [26] Bhak R H, Wininger M, Johnson G R, et al. Factors associated with small abdominal aortic aneurysm expansion rate[J]. *JAMA Surg*, 2015, 150(1): 44-50.
- [27] Bailey D M, Davies R G, Rose G A, et al. Myths and methodologies; cardiopulmonary exercise testing for surgical risk stratification in patients with an abdominal aortic aneurysm; balancing risk over benefit[J]. *Exp Physiol*, 2023, 108(9): 1118-1131.
- [28] Myers J, McElrath M, Jaffe A, et al. A randomized trial of exercise training in abdominal aortic aneurysm disease[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2014, 46(1): 2-9.
- [29] Fenton C, Tan A R, Abaraogu U O, et al. Prehabilitation exercise therapy before elective abdominal aortic aneurysm repair [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2021, 7(7): CD013662.
- [30] Hosseini A, Sahranavard T, Reiner Z, et al. Effect of statins on abdominal aortic aneurysm[J]. *Eur J Pharm Sci*, 2022, 178: 106284.
- [31] Takagi H, Yamamoto H, Iwata K, et al. Effects of statin therapy on abdominal aortic aneurysm growth; a meta-analysis and meta-regression of observational comparative studies[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2012, 44(3): 287-292.

- [32] Ma X Y, Xia S B, Liu G Q, et al. The detrimental role of intraluminal thrombus outweighs protective advantage in abdominal aortic aneurysm pathogenesis: the implications for the anti-platelet therapy [J]. *Biomolecules*, 2022, 12(7): 942.
- [33] Wanhainen A, Mani K, Kullberg J, et al. The effect of ticagrelor on growth of small abdominal aortic aneurysms-a randomized controlled trial[J]. *Cardiovasc Res*, 2020, 116(2): 450-456.
- [34] Bicknell C D, Kiru G, Falaschetti E, et al. An evaluation of the effect of an angiotensin-converting enzyme inhibitor on the growth rate of small abdominal aortic aneurysms: a randomized placebo-controlled trial (AARDVARK)[J]. *Eur Heart J*, 2016, 37(42): 3213-3221.
- [35] Propanolol Aneurysm Trial Investigators. Propranolol for small abdominal aortic aneurysms: results of a randomized trial[J]. *J Vasc Surg*, 2002, 35(1): 72-79.
- [36] Nordness M J, Baxter B T, Matsumura J, et al. The effect of diabetes on abdominal aortic aneurysm growth over 2 years[J]. *J Vasc Surg*, 2022, 75(4): 1211-1222.
- [37] Thanigaimani S, Singh T P, Unosson J, et al. Editor's choice-association between metformin prescription and abdominal aortic aneurysm growth and clinical events: a systematic review and meta-analysis [J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2021, 62(5): 747-756.
- [38] Akita N, Narita Y, Yamawaki-Ogata A, et al. Therapeutic effect of allogeneic bone marrow-derived mesenchymal stromal cells on aortic aneurysms[J]. *Cell Tissue Res*, 2021, 383(2): 781-793.
- [39] Patnaik S S, Simionescu D T, Goergen C J, et al. Pentagalloyl glucose and its functional role in vascular health: biomechanics and drug-delivery characteristics [J]. *Ann Biomed Eng*, 2019, 47(1): 39-59.
- [40] Cheng S W K, Eagleton M, Echeverri S, et al. A pilot study to evaluate a novel localized treatment to stabilize small- to medium-sized infrarenal abdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2023, 78(4): 929-935.

[收稿日期 2025-06-16]