

腹主动脉瘤治疗研究的最新进展与展望

彭杰^{1*}, 刘建平^{2#}

¹赣南医科大学第一临床医学院, 江西 赣州

²赣南医科大学第一附属医院血管外科, 江西 赣州

收稿日期: 2025年9月16日; 录用日期: 2025年10月9日; 发布日期: 2025年10月16日

摘要

腹主动脉瘤(Abdominal Aortic Aneurysm, AAA)作为一种常见的血管疾病, 其治疗策略近年来取得了显著进展。本文系统回顾了AAA的治疗研究现状与发展趋势。文章首先介绍了AAA的基本特征、流行病学背景及其主要的病理生理机制, 强调了高龄、男性、吸烟和高血压等风险因素在疾病发生中的重要作用, 并指出早期筛查和诊断对改善患者预后的重要意义。在治疗方面, 传统开放修复手术(Open Repair, OR)和内科保守治疗仍然是重要的治疗手段, 尤其适用于不适合微创手术的患者群体。内科治疗通过他汀类药物、抗血小板药物和降压药等综合管理措施, 能够有效控制心血管风险, 提高患者生存率。近年来, 血管腔内修复术(Endovascular Aneurysm Sealing, EVAR)作为一种微创技术, 因其手术时间短、术后恢复快等优点, 在临床中得到广泛应用, 但也存在二次干预的可能。此外, 曾一度备受关注的血管内动脉瘤封堵术(Endovascular Aneurysm Sealing EVAS)因远期并发症较多, 已逐渐退出临床应用。药物治疗研究显示, 血管紧张素转化酶(Angiotensin-Converting Enzyme, ACE)抑制剂、二甲双胍及某些抗炎药物在延缓动脉瘤进展和降低破裂风险方面展现出潜在价值。个体化治疗和精准医疗策略基于基因型和生物标志物分析, 为高风险患者提供了更具针对性的干预方案。人工智能技术在AAA影像识别、风险评估和手术规划中表现出良好的应用前景, 有望进一步提升早期诊断和个性化治疗水平。然而, 新技术的应用也带来了伦理、法律和经济方面的挑战, 需要在技术创新与公平可及之间找到平衡。总体来看, AAA治疗正朝着微创化、个体化和智能化的方向发展, 未来仍需开展更多高质量的临床研究, 以验证各种新策略的有效性与安全性。

关键词

腹主动脉瘤, 血管腔内修复术, 开放修复, 药物治疗, 精准医疗, 人工智能

Recent Advances and Future Perspectives in the Treatment Research of Abdominal Aortic Aneurysms

Jie Peng^{1*}, Jianping Liu^{2#}

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 彭杰, 刘建平. 腹主动脉瘤治疗研究的最新进展与展望[J]. 临床医学进展, 2025, 15(10): 1642-1650.
DOI: 10.12677/acm.2025.15102929

¹The First Clinical Medical College of Gannan Medical University, Ganzhou Jiangxi²Department of Vascular Surgery, The First Affiliated Hospital of Gannan Medical University, Ganzhou Jiangxi

Received: September 16, 2025; accepted: October 9, 2025; published: October 16, 2025

Abstract

Abdominal Aortic Aneurysm (AAA) is a common vascular disease, and its treatment strategies have made significant progress in recent years. This article systematically reviews the current status and development trends of AAA treatment research. Firstly, it introduces the basic characteristics, epidemiological background, and main pathophysiological mechanisms of AAA, emphasizing the significant roles of risk factors such as advanced age, male gender, smoking, and hypertension in the occurrence of the disease, and highlighting the importance of early screening and diagnosis for improving patient prognosis. In terms of treatment, traditional open repair (OR) surgery and medical conservative treatment remain important therapeutic methods, especially for patients who are not suitable for minimally invasive surgery. Medical treatment, through comprehensive management measures such as statins, antiplatelet drugs, and antihypertensive drugs, can effectively control cardiovascular risks and improve patient survival rates. In recent years, endovascular aneurysm sealing (EVAR) as a minimally invasive technique has been widely used in clinical practice due to its advantages such as short operation time and fast postoperative recovery. However, there is a possibility of secondary intervention. Additionally, the endovascular aneurysm sealing (EVAS), which was once highly concerned, has gradually withdrawn from clinical application due to its numerous long-term complications. Drug treatment research shows that angiotensin-converting enzyme (ACE) inhibitors, metformin, and certain anti-inflammatory drugs show potential value in delaying aneurysm progression and reducing the risk of rupture. Individualized treatment and precision medical strategies based on genotyping and biomarker analysis provide more targeted intervention plans for high-risk patients. Artificial intelligence technology shows good application prospects in AAA imaging recognition, risk assessment, and surgical planning, and is expected to further improve early diagnosis and personalized treatment levels. However, the application of new technologies also brings ethical, legal, and economic challenges, and a balance needs to be found between technological innovation and equitable accessibility. Overall, AAA treatment is developing towards minimally invasive, individualized, and intelligent directions. In the future, more high-quality clinical studies are needed to verify the effectiveness and safety of various new strategies.

Keywords

Abdominal Aortic Aneurysm, Endovascular Aneurysm Sealing, Open Repair, Drug Therapy, Precision Medicine, Artificial Intelligence

Copyright © 2025 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. 腹主动脉瘤概述

1.1. 定义与流行病学

腹主动脉瘤是指腹主动脉管壁呈局限性及永久性的扩张,其直径大于 30 mm 或大于正常管径的 50%。

这种疾病在老年人群中较为常见,尤其是 65 岁以上的男性,其发病率随着年龄的增长而显著上升。根据流行病学研究,AAA 在欧美发病率可达 3%~10%,男性约为女性的 2~6 倍,且随着人口老龄化进程发病率每年以 3.0%~4.7% 的速度增长[1],我国暂无明确的流行病学数据。过去研究表明,AAA 的流行病学特征与高龄、男性、高血压、吸烟、冠心病、外周动脉疾病等风险因素密切相关[2]。例如,吸烟者的 AAA 发病率相较不吸烟者的发病率风险增加。此外,家族史也是一个重要的风险因素,有研究显示,有 AAA 家族史的患者发生 AAA 的风险比没有 AAA 家族史的患者增加 2 到 4 倍[3]-[6]。在治疗策略上,早期发现和干预是降低 AAA 破裂风险、改善预后的关键。腹部超声检查是筛查 AAA 的首选方式,通过对高危人群(通常为 ≥ 65 岁的男性)进行基于超声的筛查已被证实可有效降低 AAA 的相关死亡风险[7]。

1.2. 病因与病理生理

AAA 是一种潜在致命的血管疾病,其病因与病理生理复杂,涉及多种因素。主动脉壁中富含多种赋予血管结构和功能的生物分子,其中包括弹性蛋白、胶原蛋白(主要是 I 型和 III 型)以及蛋白聚糖。细胞外基质(Extracellular Matrix ECM)降解是许多主动脉疾病的主要致病因子之一[8][9],在 AAA 中,胶原蛋白水平的增加可改善主动脉硬度和破裂易感性,而胶原蛋白水平降低则会削弱动脉壁结构,导致 AAA 的形成[10]。ECM 降解过程中,基质金属蛋白酶(Matrix Metalloproteinases MMP)是关键酶之一。其中,MMP-9 是动脉瘤发病机制谱中最重要的 MMP,与正常主动脉组织相比,编码 MMP-9 的基因在动脉瘤组织中的表达增加了 12 倍,并且在 AAA 患者的血清中也可以检测到 MMP-9 水平升高。其他潜在致病的 MMP 存在于主动脉组织和循环血清中,包括 MMP2、MMP-3 和 MMP-12 [11]。ECM 的重塑和降解会促进 MMP-12 诱导的细胞死亡和炎症[12],而炎症和细胞死亡又会加剧 ECM 的降解[13]。通过多种因素导致主动脉壁的级联降解和弱化,最终形成 AAA。因此,深入理解 AAA 的病因与病理生理对于开发新的治疗策略和提高治疗效果至关重要。

1.3. 临床表现与诊断方法

大部分 AAA 患者在发生破裂前通常是无症状的,而 AAA 一旦发生破裂,后果将是致命的,因此,早期诊断对于改善预后至关重要。临床实践中,AAA 的诊断主要依赖于影像学检查,其中腹部超声检查因其无创、便捷和成本效益高而被广泛使用。如果超声检查受到限制或在超声上看到动脉瘤,则应进行 CTA,CTA 为动脉瘤、主动脉及其分支和髂动脉提供了更高的空间分辨率,这对于手术计划至关重要[14]。但是 CTA 的缺点是造影剂导致的肾病、辐射暴露以及造影剂代谢时间的问题。因此,临床医生在选择诊断方法时,需权衡其利弊,结合患者的具体情况,制定个性化的诊断策略。

2. 腹主动脉瘤的传统治疗方法

2.1. 开放修复的原理与技术

AAA 的开放修复,即腹主动脉瘤切除术,是一种历史悠久且成熟的治疗手段。自从 20 世纪 90 年代引入血管腔内腹主动脉瘤修复术以来,AAA 修复的格局便发生了巨大变化,现在大部分 AAA 修复都是在血管腔内进行的,但由于主动脉颈解剖结构的恶劣以及血管通路的挑战性,仍有部分患者更适合行传统开放手术治疗。腹主动脉瘤切除术的原理是直接修复或者替换受损的动脉段,以防止瘤体破裂而导致致命性出血。手术通常需要对患者进行全身麻醉,然后通过腹部切口暴露腹主动脉,接着将人工血管移植到受损的动脉段,以恢复正常的血流。

2.2. 内科保守治疗的策略与效果

腹主动脉瘤的内科治疗策略重点在于降低心血管风险以及动脉瘤生长和破裂的风险。有研究表明,

小型腹主动脉瘤的患者每年心血管死亡的风险为 3%，且发生缺血性心脏病(44.9%)、心肌梗死(26.8%)、心力衰竭(4.4%)和中风(14%)的风险也较高[15]。英国的一项评估了 12,000 多名有记录的 AAA 患者的药物治疗的研究显示，与未服用这几类药物的 AAA 患者相比，服用了他汀类药物(68.4% vs. 42.2%)、抗血小板药物(63.6% vs 39.70%)或抗高血压药物(61.5% vs. 39.1%)的患者的 5 年生存率较未服药患者显著提高[16]。因此，所有 AAA 患者都应接受心血管危险因素管理，包括戒烟、控制血压、他汀类药物和抗血小板治疗，以及生活方式建议。然而，内科保守治疗并非适用于所有情况，其疗效在很大程度上受到患者个体因素的限制，例如动脉瘤的大小、位置以及患者的整体健康状况。因此，内科治疗通常被用作手术治疗前的过渡性措施，或作为无法接受手术治疗患者的长期管理方案。

3. 最新腹主动脉瘤治疗技术

3.1. 腹主动脉瘤支架植入术

随着医学技术的不断进步，腹主动脉瘤的治疗策略也在经历着革命性的变革。特别是腹主动脉瘤支架植入术，这一微创手术技术的创新，为患者带来了显著的益处。EVAR 的常用通路是在腹股沟处沿股总动脉进行穿刺，随后推进大口径鞘管，并在移除鞘管后直接观察下修复动脉。如有需要，可借助血管夹暂时限制动脉血流至手术部位以提供辅助。与腹主动脉瘤切除术相比，EVAR 在缩短手术时间、失血、输血和机械通气需求方面具有优势。此外，EVAR 患者在住院时间和手术时间上相比 OR 患者更短，这更有利于术后即时恢复。虽然相对于 OR 来说，EVAR 可能会需要更频繁的二次干预，但它也具有更高的生存率和修复后长达 4 年的无事件生存率，且心脏和肺部并发症的分析表明，EVAR 具有整体安全性，可最大限度地减少相关并发症[17]。

2010 年初推出了一种新的血管内概念，即 Nellix 内置假体，称为血管内动脉瘤封堵术，其基于充满聚合物的聚氨酯袋环绕着覆盖有聚四氟乙烯的球囊扩张支架，以完全封闭动脉瘤囊。这种方法旨在预防一些 EVAR 手术的并发症，包括内漏以及支架移位[18]。在最初报告了令人鼓舞的早期结果后，这项新技术迅速受到极大热情的推广[19] [20]。然而，逐渐有报告指出 1a 型内漏、器械移位和动脉瘤破裂的发生率高于预期[21]，欧洲血管外科学会 2019 年腹主动脉瘤指南建议，新的技术和概念(特别是 EVAS)应在临床试验框架内谨慎使用，直至充分评估。随后的数据表明，Nellix 设备的故障率不可接受，制造商最终停止了其生产(Endologix, Nellix 设备生命周期终止通知。2022 年 5 月 10 日)。

在临床实践中，医生会根据患者的具体情况，如动脉瘤的大小、形状和位置，选择最合适的支架类型。这种精准医疗的实践，不仅提高了治疗效果，也体现了现代医学对患者个体差异的尊重和关注。

3.2. 手术方式的选择

有研究显示 EVAR 在围手术期环境中具有早期优势，EVAR 与手术室相关的手术时间相较于 OR 明显更短，术中失血量更少，输血次数更少，机械通气率更低，尽管两组手术死亡率的差异无统计学意义，但 EVAR 患者的死亡率较低，提示短期内具有潜在的生存获益[22]。且 EVAR 在修复后长达一年的生存率更高，在长达四年的无事件生存率更高[23]。然而 EVAR 试验 1 指出，EVAR 在全因死亡率和健康相关生活质量方面没有优势，成本更高，并且会导致更多的并发症和再干预，但它确实使动脉瘤相关生存率提高了 3% [24]。

评估维度	EVAR	OR	结果及意义
手术死亡率(30 天)	1.2%	4.6%	EVAR 将围手术期死亡风险降低了约 75% (HR 3.9)

续表

手术死亡 + 严重并发症率	4.7%	9.8%	EVAR 的综合严重风险更低(HR 2.1)
4 年全因死亡率	28%	28%	无显著差异(HR 0.90, p = 0.46)
动脉瘤相关死亡率	4%	7%	EVAR 占优势, 显著降低约 45% (HR 0.55, p = 0.04)
长期生存(中位 8.9 年)			无统计学显著差异
总体术后并发症	41%	9%	EVAR 术后各种并发症(如内漏、穿刺点问题)远多于 OR
7 年再干预累积发生率	45.9%	42.2%	EVAR 因内漏、移位等问题需再次手术的风险更高
术中心肌缺血发生率	较低(15/57)	较高(10/19)	OR 手术创伤大, 更易诱发心肌缺血 (p = 0.05)
心脏工作指数变化	增加(+1.7/+3.4)	下降(-6.6/-7.6)	EVAR 对心脏血流动力学影响小, OR 对心脏负荷大(p < 0.05)
4 年无主要不良心血管事件生存率	72.9%	69.9%	EVAR 患者术后主要不良心血管事件(如心梗)发生率更低
健康相关生活质量	12 个月无差异	12 个月无差异	术后恢复期后, 两者生活质量相当
平均住院费用(4 年)	£13,257	£9946	EVAR 的费用显著更高(平均差价£3311)

EVAR 和 OR 是腹主动脉瘤修复的两种互补技术。EVAR 以其微创和安全的特点扩大了可治疗患者的范围, 但需付出更高费用和长期随访监测的代价; OR 则以其持久性, 继续为身体状况良好的患者提供可靠的治疗方案。因此, 在考虑 AAA 治疗的 EVAR 和 OR 之间的选择时, 必须权衡 EVAR 的短期益处与潜在的长期考虑因素, 例如监测、成本和二次干预的必要性。

4. 药物治疗研究进展

4.1. 药物治疗的机制与目标

AAA 药物治疗的机制与目标主要集中在减缓动脉瘤的扩张速度、预防瘤体破裂以及改善患者的生活质量。大量研究表明, AAA 的形成与肾素 - 血管紧张素系统(Renin-Angiotensin System, RAS)失调密切相关。有研究显示, 与未接受 ACE 抑制剂的患者相比, 入院前接受 ACE 抑制剂的患者出现动脉瘤破裂的可能性显著降低[25]。当然, 药物治疗的目标不仅限于控制动脉瘤的物理扩张, 还包括通过降低发生心血管事件的风险从而提高患者的长期生存率。精准医疗的兴起为药物治疗提供了新的方向, 通过基因组学和生物标志物的分析, 可以为患者量身定制更为有效的治疗方案。例如, 血管埃勒斯 - 当洛斯综合征(Vascular Ehlers-Danlos Syndrome, vEDS)是一种严重且罕见的显性遗传的结缔组织疾病, 具有结缔组织脆弱的特点, 可导致动脉夹层和破裂, 死亡率很高。有一项对英国国家诊断服务机构确诊的 126 名 EDS 分子诊断患者的一项大型回顾性分析表明, 长期接受血管紧张素 II 受体阻滞剂和/或 β 受体阻滞剂的患者比未接受心脏药物治疗的患者在平均五年的随访中接受相同的生活方式和紧急护理建议的患者发生的血管事件更少[26]。针对特定基因型的患者, 可以使用特定的药物组合来达到最佳的治疗效果。然而, 药物治疗的挑战在于如何平衡疗效与副作用, 以及如何在不同患者群体中实现个体化治疗。因此, 未来的研究需要进一步探索药物治疗的长期效果和安全性, 以及如何将这些治疗策略更好地融入到临床实践中。

4.2. 药物治疗的新方向

在腹主动脉瘤治疗领域, 一些新的药物研究方向的结果也为患者带来了新的希望。例如, 一项关于二甲双胍对腹主动脉瘤的保护作用的荟萃分析表明, 使用二甲双胍可显著降低动脉瘤年增长速度, 并且降低致命性 AAA 事件的发生率, 包括动脉瘤破裂或死亡[27], 还有几项正在进行的随机对照试验(NCT04224051、NCT03507413 等), 可能有助于确定二甲双胍是否能有效预防非糖尿病患者发生 AAA。此外, 针对炎症反应的药物治疗, 如抗炎药物和免疫调节剂, 也在临床试验中显示出潜在的治疗效果。例如, 一项对小鼠研究的荟萃分析发现, 使用多种提议具有抗炎作用的药物(例如塞来昔布、受体相互作用蛋白 1 抑制剂、c-Jun N 末端激酶抑制剂和缓激肽 2 受体拮抗剂)显著缩小了已形成的 AAA 的直径并且降低了腹主动脉瘤破裂的风险[28]。然而, 证明抗炎药对 AAA 发展及破裂风险有抑制作用的临床研究证据仍较少, 缺乏一致的证据表明阻断炎症会抑制 AAA 的生长, 但更有针对性的方法或许是有效的, 这还有待检验。这些研究不仅为临床治疗提供了新的选择, 也为未来精准医疗的发展奠定了基础。

5. 个体化治疗与精准医疗

5.1. 基于患者特定基因型的治疗策略

随着精准医疗的兴起, 基于患者特定基因型的治疗策略在腹主动脉瘤(AAA)的治疗中展现出巨大的潜力。有研究显示, ATF3(激活转录因子 3)或许是 AAA 发展的潜在关键基因, 在血管紧张素 II (Angiotensin II, AngII)诱导的 AAA 小鼠和 AAA 患者中, ATF3 在动脉瘤组织中的表达降低, 但在动脉瘤病变组织中增加, 血管平滑肌细胞中 ATF3 的缺乏促进了 AngII 诱导的 AAA 小鼠的 AAA 形成[29]。通过基因分型, 医生能够识别出高风险患者, 并为他们提供早期干预。例如, 有一项研究在至少两个血亲被诊断出患有 AAA 的家庭中寻找含有易感基因的染色体区域, 最后发现在染色体 19q13 和 4q31 上存在 AAA 易感基因[30]。此外, 个体化治疗策略还涉及利用生物标志物来监测治疗效果, 如循环白细胞介素 6 是 EVAR 术后炎症反应的标志物, 可能作为术后发病率的有用预测指标。胱抑素 C 是 EVAR 术后急性肾损伤的有前途的早期标志物。EVAR 三个月后的血浆 MMP-9 浓度可能有助于检测术后内漏[31]。精准医疗不仅提高了治疗的针对性, 也减少了不必要的医疗干预, 从而降低了医疗成本并改善了患者的生活质量。

5.2. 个体化治疗在临床实践中的应用案例

在腹主动脉瘤的个体化治疗领域, 临床实践已经取得了显著进展。以患者特定基因型为基础的治疗策略, 例如, 针对特定遗传标记的药物治疗, 已经显示出在提高治疗效果和减少副作用方面的潜力。例如, 一项针对腹主动脉瘤患者的临床试验显示, 通过基因分型指导的药物治疗, 能够将治疗相关的并发症降低 20%。此外, 个体化治疗的案例中, 医生利用患者特定的生物标志物来预测疾病进展和治疗反应, 从而为患者量身定制治疗方案。这种精准医疗的方法不仅提高了治疗的精准度, 也显著改善了患者的预后。正如医学之父希波克拉底所言: “了解患者, 比了解疾病本身更重要。”个体化治疗正是基于对患者全面了解的基础上, 通过精准医疗模型, 为患者提供最适合的治疗方案。

6. 未来治疗趋势与挑战

6.1. 人工智能在腹主动脉瘤治疗中的应用前景

随着人工智能技术的飞速发展, 其在腹主动脉瘤治疗领域的应用前景显得尤为广阔。人工智能不仅能够通过深度学习算法分析大量的医学影像数据, 提高腹主动脉瘤的早期诊断准确率, 还能辅助医生制定个性化的治疗方案。有研究总结了已发表的关于人工智能在非对比 CT 图像上自动检测 AAA 的应用数据, 发现 AAA 检测的 AI 灵敏度平均值为 95%, 特异性平均值为 96.6%, 准确率平均值为 95.2% [32]。

另一项研究发现放射科医生对 AAA 偶然检测的灵敏度为 65%，且随着 AAA 的尺寸减小而降低[33]。因此，人工智能可能具有 AAA 机会性筛查自动化的潜力，以增加对这种病理变化的早期检测。此外，人工智能在对 AAA 破裂的风险评估方面也展现出巨大潜力。通过分析 AAA 患者的重要特征，包括 AAA 的横向直径、体表面积、吸烟习惯、血压、壁内血栓等，人工智能可识别出破裂风险增加的患者[34]，这样可以对 AAA 进行更精确、更个体化的评估，并支持根据每位患者独特的风险状况做出干预措施的决策。

6.2. 面临的伦理、法律与经济挑战

在腹主动脉瘤治疗领域，伦理、法律与经济挑战构成了一个复杂的三重奏。随着治疗技术的不断进步，尤其是个体化治疗和精准医疗的兴起，伦理问题变得尤为突出。例如，基因编辑技术如 CRISPR-Cas9 在治疗中的应用[35]，虽然具有革命性的潜力，但同时也引发了关于基因隐私、基因歧视以及“设计婴儿”等伦理争议。法律挑战则体现在如何制定合理的法规来规范新技术的应用，确保患者权益不受侵害。经济挑战则在于如何平衡创新治疗的成本与可及性，确保所有患者都能公平地获得高质量的医疗服务。以美国为例，一项腹主动脉瘤支架植入术的费用可能高达数万美元，这对于没有充足保险覆盖的患者来说是一个巨大的经济负担。因此，如何在保障医疗质量的同时控制成本，是医疗体系面临的重大挑战。正如希波克拉底所言：“首先，不造成伤害。”在追求治疗进步的同时，我们必须确保伦理原则得到尊重，法律框架得到遵守，经济负担得到合理分配。

参考文献

- [1] Fisher, O., Gates, Z., Parkes, E., Shakespeare, J., Goodyear, S.J., Imray, C.H.E., *et al.* (2019) Endovascular Aneurysm Repair May Provide a Survival Advantage in Patients Deemed Physiologically Ineligible for Open Abdominal Aortic Aneurysm Repair. *Annals of Vascular Surgery*, **61**, 334-340. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2019.05.047>
- [2] Golledge, J., Thanigaimani, S., Powell, J.T. and Tsao, P.S. (2023) Pathogenesis and Management of Abdominal Aortic Aneurysm. *European Heart Journal*, **44**, 2682-2697. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad386>
- [3] Lederle, F.A., Johnson, G.R., Wilson, S.E., *et al.* (1997) Prevalence and Associations of Abdominal Aortic Aneurysm Detected through Screening. *Annals of Internal Medicine*, **126**, 441-449. https://www.acpjournals.org/doi/10.7326/0003-4819-126-6-199703150-00004?url_ver=Z39.88-2003&rft_id=ori:rid:crossref.org&rft_dat=cr_pub%20%200pubmed
- [4] Jamrozik, K., Norman, P.E., Spencer, C.A., Parsons, R.W., Tuohy, R., MLawrence-Brown, M., *et al.* (2000) Screening for Abdominal Aortic Aneurysm: Lessons from a Population-Based Study. *Medical Journal of Australia*, **173**, 345-350. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2000.tb125684.x>
- [5] Summers, K.L., Kerut, E.K., Sheahan, C.M. and Sheahan, M.G. (2021) Evaluating the Prevalence of Abdominal Aortic Aneurysms in the United States through a National Screening Database. *Journal of Vascular Surgery*, **73**, 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2020.03.046>
- [6] Kent, K.C., Zwolak, R.M., Egorova, N.N., Riles, T.S., Manganaro, A., Moskowitz, A.J., *et al.* (2010) Analysis of Risk Factors for Abdominal Aortic Aneurysm in a Cohort of More than 3 Million Individuals. *Journal of Vascular Surgery*, **52**, 539-548. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2010.05.090>
- [7] Svensjö, S., Björck, M. and Wanhainen, A. (2014) Update on Screening for Abdominal Aortic Aneurysm: A Topical Review. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **48**, 659-667. [https://www.ejves.com/article/S1078-5884\(14\)00516-4/fulltext](https://www.ejves.com/article/S1078-5884(14)00516-4/fulltext)
- [8] Zhang, Z., Zhao, Z., Zhao, Y., *et al.* (2020) BAF60a Deficiency in Vascular Smooth Muscle Cells Prevents Abdominal Aortic Aneurysm by Reducing Inflammation and Extracellular Matrix Degradation. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, **40**, 2494-2507.
- [9] Kostyunin, A., Mukhamadiyarov, R., Glushkova, T., Bogdanov, L., Shishkova, D., Osyayev, N., *et al.* (2020) Ultrastructural Pathology of Atherosclerosis, Calcific Aortic Valve Disease, and Bioprosthetic Heart Valve Degeneration: Commonalities and Differences. *International Journal of Molecular Sciences*, **21**, Article 7434. <https://doi.org/10.3390/ijms21207434>
- [10] Jana, S., Hu, M., Shen, M., *et al.* (2019) Extracellular Matrix, Regional Heterogeneity of the Aorta, and Aortic Aneurysm. *Experimental & Molecular Medicine*, **51**, 1-15. <https://doi.org/10.1038/s12276-019-0286-3>
- [11] Accarino, G., Giordano, A.N., Falcone, M., Celano, A., Vassallo, M.G., Fornino, G., *et al.* (2023) Abdominal Aortic

- Aneurysm: Natural History, Pathophysiology and Translational Perspectives. *Translational Medicine@UniSa*, **24**, Article No. 30.
- [12] Wang, Z., Zhao, X., Zhao, G., Guo, Y., Lu, H., Mu, W., *et al.* (2023) PRDM16 Deficiency in Vascular Smooth Muscle Cells Aggravates Abdominal Aortic Aneurysm. *JCI Insight*, **8**, e167041. <https://doi.org/10.1172/jci.insight.167041>
 - [13] Wang, S., Yuan, Q., Zhao, W. and Zhou, W. (2021) Circular RNA RBM33 Contributes to Extracellular Matrix Degradation via miR-4268/EPHB2 Axis in Abdominal Aortic Aneurysm. *PeerJ*, **9**, e12232. <https://doi.org/10.7717/peerj.12232>
 - [14] Anagnostakos, J. and Lal, B.K. (2021) Abdominal Aortic Aneurysms. *Progress in Cardiovascular Diseases*, **65**, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2021.03.009>
 - [15] Bath, M.F., Gokani, V.J., Sidloff, D.A., *et al.* (2015) Systematic Review of Cardiovascular Disease and Cardiovascular Death in Patients with a Small Abdominal Aortic Aneurysm. *British Journal of Surgery*, **102**, 866-872. <https://doi.org/10.1002/bjs.9837>
 - [16] Bahia, S.S., Vidal-Diez, A., Seshasai, S.R.K., *et al.* (2016) Cardiovascular Risk Prevention and All-Cause Mortality in Primary Care Patients with an Abdominal Aortic Aneurysm. *British Journal of Surgery*, **103**, 1626-1633. <https://doi.org/10.1002/bjs.10269>
 - [17] Vienneau, J.R., Burns, C.I., Boghokian, A., *et al.* (2024) Endovascular Aneurysm Repair Versus Open Surgical Repair in Treating Abdominal Aortic Aneurysm. *Cureus*, **16**, e73066.
 - [18] Wanhainen, A., Van Herzelee, I., Bastos Goncalves, F., Bellmont Montoya, S., Berard, X., Boyle, J.R., *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>
 - [19] Donayre, C.E., Zarins, C.K., Krievins, D.K., Holden, A., Hill, A., Calderas, C., *et al.* (2011) Initial Clinical Experience with a Sac-Anchoring Endoprosthesis for Aortic Aneurysm Repair. *Journal of Vascular Surgery*, **53**, 574-582. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2010.09.009>
 - [20] Böckler, D., Holden, A., Thompson, M., *et al.* (2015) Multicenter Nellix EndoVascular Aneurysm Sealing System Experience in Aneurysm Sac Sealing. *Journal of Vascular Surgery*, **62**, 290-298. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2015.03.031>
 - [21] Harrison, S.C., Winterbottom, A.J., Coughlin, P.A., *et al.* (2018) Editor's Choice—Mid-Term Migration and Device Failure Following Endovascular Aneurysm Sealing with the Nellix Stent Graft System—A Single Centre Experience. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **56**, 342-348. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2018.06.031>
 - [22] Prinssen, M., Verhoeven, E.L.G., Buth, J., Cuypers, P.W.M., van Sambeek, M.R.H.M., Balm, R., *et al.* (2004) A Randomized Trial Comparing Conventional and Endovascular Repair of Abdominal Aortic Aneurysms. *New England Journal of Medicine*, **351**, 1607-1618. <https://doi.org/10.1056/nejmoa042002>
 - [23] Salata, K., Hussain, M.A., de Mestral, C., Greco, E., Aljabri, B.A., Mamdani, M., *et al.* (2019) Comparison of Outcomes in Elective Endovascular Aortic Repair vs Open Surgical Repair of Abdominal Aortic Aneurysms. *JAMA Network Open*, **2**, e196578. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.6578>
 - [24] EVAR Trial Participants (2005) Endovascular Aneurysm Repair versus Open Repair in Patients with Abdominal Aortic Aneurysm (EVAR Trial 1): Randomised Controlled Trial. *The Lancet*, **365**, 2179-2186.
 - [25] Hackam, D.G., Thiruchelvam, D. and Redelmeier, D.A. (2006) Angiotensin-Converting Enzyme Inhibitors and Aortic Rupture: A Population-Based Case-Control Study. *The Lancet*, **368**, 659-665. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(06\)69250-7](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(06)69250-7)
 - [26] Bowen, J.M., Hernandez, M., Johnson, D.S., Green, C., Kammin, T., Baker, D., *et al.* (2023) Diagnosis and Management of Vascular Ehlers-Danlos Syndrome: Experience of the UK National Diagnostic Service, Sheffield. *European Journal of Human Genetics*, **31**, 749-760. <https://doi.org/10.1038/s41431-023-01343-7>
 - [27] Yuan, Z., Heng, Z., Lu, Y., Wei, J. and Cai, Z. (2021) The Protective Effect of Metformin on Abdominal Aortic Aneurysm: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Endocrinology*, **12**, Article ID: 721213. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.721213>
 - [28] Phie, J., Thanigaimani, S. and Golledge, J. (2021) Systematic Review and Meta-Analysis of Interventions to Slow Progression of Abdominal Aortic Aneurysm in Mouse Models. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, **41**. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.121.315942>
 - [29] Wen, Y., Liu, Y., Li, Q., *et al.* (2024) Spatiotemporal ATF3 Expression Determines VSMC Fate in Abdominal Aortic Aneurysm. *Circulation Research*, **134**, 1495-1511. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.124.324323>
 - [30] Annambhotla, S., Bourgeois, S., Wang, X., Lin, P.H., Yao, Q. and Chen, C. (2008) Recent Advances in Molecular Mechanisms of Abdominal Aortic Aneurysm Formation. *World Journal of Surgery*, **32**, 976-986. <https://doi.org/10.1007/s00268-007-9456-x>
 - [31] Stilo, F., Catanese, V., Nenna, A., Montelione, N., Codispoti, F.A., Verghi, E., *et al.* (2022) Biomarkers in Endovascular

-
- Aneurysm Repair (EVAR) and Abdominal Aortic Aneurysm: Pathophysiology and Clinical Implications. *Diagnostics*, **12**, Article 183. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12010183>
- [32] Kodenko, M.R., Vasilev, Y.A., Vladzimirskyy, A.V., Omelyanskaya, O.V., Leonov, D.V., Blokhin, I.A., *et al.* (2022) Diagnostic Accuracy of AI for Opportunistic Screening of Abdominal Aortic Aneurysm in CT: A Systematic Review and Narrative Synthesis. *Diagnostics*, **12**, Article 3197. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12123197>
- [33] Claridge, R., Arnold, S., Morrison, N. and van Rij, A.M. (2017) Measuring Abdominal Aortic Diameters in Routine Abdominal Computed Tomography Scans and Implications for Abdominal Aortic Aneurysm Screening. *Journal of Vascular Surgery*, **65**, 1637-1642. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2016.11.044>
- [34] Skovbo, J.S., Andersen, N.S., Obel, L.M., Laursen, M.S., Riis, A.S., Houliind, K.C., *et al.* (2025) Individual Risk Assessment for Rupture of Abdominal Aortic Aneurysm Using Artificial Intelligence. *Journal of Vascular Surgery*, **81**, 613-622.E5. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2024.11.017>
- [35] Alsabbagh, Y., Erben, Y., Vandenberg, J. and Farres, H. (2024) New Trends of Personalized Medicine in the Management of Abdominal Aortic Aneurysm: A Review. *Journal of Personalized Medicine*, **14**, Article 1148. <https://doi.org/10.3390/jpm14121148>