

# 中国心血管学科发展的战略转型与未来图景\*

杨乔西 蔡军

(首都医科大学附属北京安贞医院·北京市心肺血管疾病研究所, 北京 100029)

**【摘要】** 心血管疾病(CVD)是我国居民死亡的首要原因,占全部死因近半数。在人口老龄化加速、危险因素控制率长期偏低以及人工智能、介入技术和交叉学科等快速发展的多重时代背景下,我国心血管学科正处于高质量发展转型的关键阶段。本文基于我国 CVD 流行病学特征与学科发展现状,系统提出学科亟需实现的三大战略转型方向:从“治疗”向“治愈”转变、从“治疗”向“预防”转变,以及向“舒适化医疗”转变。同时,本文也探讨了未来学科发展的关键支撑路径,以期构建中国特色的 CVD 防治体系提供理论依据与实践参考。

**【关键词】** 心血管疾病;心血管学科;发展;战略转型

**【中图分类号】** R54 **【文献标志码】** A **DOI:**10. 3969/j. issn. 1672-3511. 2026. 03. 001

## Strategic transformation and future landscape of cardiovascular medicine in China

YANG Qiaoxi, CAI Jun

(Beijing Anzhen Hospital of Capital Medical University, Beijing Institute of Heart Lung and Blood Vessel Diseases, Beijing 100029, China)

**【Abstract】** Cardiovascular disease (CVD) remains the leading cause of mortality in China, accounting for nearly half of all deaths. In the context of a rapidly aging population, persistently suboptimal control of modifiable risk factors, and the accelerating advances in interventional therapies, artificial intelligence, and interdisciplinary integration, cardiovascular medicine in China is undergoing a critical transition toward high-quality, value-based development. Based on the current epidemiological profile of CVD and the developmental status of the discipline, this article systematically proposes three essential strategic shifts; the transition from “treatment” to “cure”, the shift from “treatment” to “prevention” and the evolution toward “comfort-oriented medical care”. Furthermore, this article explores the key supportive pathways for future development, aiming to provide a theoretical foundation and practical reference for establishing a comprehensive CVD prevention and treatment system tailored to the Chinese population.

**【Key words】** Cardiovascular disease; Cardiovascular medicine; Development; Strategic transformation

心血管疾病(Cardiovascular disease, CVD)是全球范围内导致死亡的首要原因<sup>[1]</sup>,也是衡量一个国家公共卫生与医疗服务水平的关键指标。在中国,伴随经济社会快速转型、人口老龄化进程的加速以及生活方式改变,CVD 的流行态势日趋严峻,对现有医疗体

系构成重大挑战。当前数据显示,我国 CVD 负担持续加重:高血压患者超过 3.3 亿,外周动脉疾病约 4 530 万,脑卒中患者约 1 300 万,冠心病患者约 1 139 万,心衰患者约 890 万。CVD 目前仍位居城乡居民的首位死因。2023 年中国超过 18 岁人群的 CVD 粗发

**基金项目:** 国家科技重大专项(2024ZD0526800)

**执行编委简介:** 蔡军,主任医师,博士研究生导师,首都医科大学附属北京安贞医院院长,北京市心肺血管疾病研究所所长,首都医科大学心血管病学系主任;长期从事心血管临床一线工作,专注疑难高血压诊治及高血压发病机制研究;获国家杰出青年基金、科技部中青年科技创新领军人才等;担任中华医学会心血管病学分会常委兼临床研究学组组长、海峡两岸医药卫生交流协会高血压专业委员会主任委员、中华预防医学会高血压专业委员会主任委员、中国医师协会高血压专业委员会副主任委员及《西部医学》主编。E-mail:caijun7879@126.com

**引用本文:** 杨乔西,蔡军. 中国心血管学科发展的战略转型与未来图景[J]. 西部医学, 2026, 38(3): 313-317, 324. DOI:10. 3969/j. issn. 1672-3511. 2026. 03. 001

病率为 620.33/10 万,其中脑卒中占 CVD 总发病的 79%,西部地区负担尤为突出<sup>[2]</sup>。值得关注的是,疾病谱呈现“年轻化”与“代谢复杂化”的新特征。我国关键危险因素控制现状与指南目标仍存在显著差距:高血压控制率不足 20%,糖尿病控制率为 50%,血脂达标率不足 5%,这一现状与患者依从性低、基层医疗资源分配不均、公共卫生政策落地难等多重因素相关<sup>[3-4]</sup>。尽管过去 30 年间,我国在急性心肌梗死救治体系建设、冠脉介入技术推广、结构性心脏病微创治疗及心律失常介入治疗等领域取得显著进展,住院病死率明显下降,但 CVD 的发病率与死亡率拐点尚未出现,这种“高技术投入”与“高疾病负担”并存的现状,深刻揭示了单纯依赖晚期临床干预的局限性。因此,心血管学科发展亟需向以健康为中心的“全链条”管理模式跃升。这不仅涉及临床技术的迭代,更是一场涵盖预防策略、治疗目标、服务模式及科研范式的系统性变革。本文将围绕 CVD“从治疗向治愈转变”、“从治疗向预防转变”以及“舒适化医疗”等战略方向,对我国心血管学科发展的核心路径进行探讨。

## 1 从“治疗”向“治愈”转变

长期以来,高血压、心力衰竭等 CVD 被视为需终身管理的“慢性病”,治疗目标多局限于症状控制与延缓进展。然而,随着分子生物学、基因编辑、再生医学及生物工程技术的发展,通过精准干预实现疾病的“临床治愈”或“功能性逆转”已成为可能。

### 1.1 分子诊断与基因治疗的精准融合

精准医学的核心在于从分子与基因层面重新定义疾病,将遗传背景、生物通路及疾病演进差异纳入诊疗决策,推动 CVD 从基于临床表型的经验性治疗,转向以分子分型与致病机制为导向的个体化治疗<sup>[5]</sup>。

1.1.1 遗传学驱动的疾病精准分型 CVD 具有显著的遗传异质性。通过基因测序和多组学分析,可将传统上被视为“同质性”的疾病进一步细分为具有明确分子基础的亚型,从而直接影响治疗策略。例如,家族性高胆固醇血症多与 *LDLR*、*PCSK9* 基因突变相关;遗传性转甲状腺素蛋白淀粉样变源于 *TTR* 基因突变;部分肥厚型、扩张型心肌病及致心律失常性右室心肌病与肌节蛋白或细胞连接蛋白编码基因异常密切相关;Liddle 综合征等单基因高血压源于离子通道调控异常。明确这些分子机制有助于实现针对性干预,部分患者甚至可在病因控制后显著减少或停用长期药物治疗<sup>[6]</sup>。

1.1.2 基于致病机制的基因治疗 基因治疗目前主要包括基因替代、基因沉默、基因编辑等策略。对于功能缺失型突变,基因替代疗法通过腺相关病毒等载

体恢复关键蛋白表达;而在有害获得性功能突变或毒性蛋白持续表达的疾病中,基因沉默疗法如 siRNA 或反义寡核苷酸可选择性抑制致病蛋白合成;此外,CRISPR/Cas9 等基因编辑技术则致力于直接修正致病突变。这些方法已在多种遗传性心肌病和心律失常模型中显示出治疗潜力<sup>[7]</sup>。例如,针对 MYBPC3 相关肥厚型心肌病的 AAV9 基因疗法 TN-201 的成人患者中表现出良好安全性与有效性,单次治疗可使左心室后壁厚度平均降低 40%,心功能得到改善<sup>[8-9]</sup>。

### 1.2 慢性 CVD 的“功能性治愈”探索

在常见慢性 CVD 领域,部分疾病的治疗目标正由长期对症控制转向以病因干预和功能恢复为导向的“功能性治愈”。

1.2.1 心律失常的根治性策略 研究显示,迷走神经过度激活是心动过缓及相关传导障碍的重要神经机制。靶向迷走神经节的导管消融可通过降低异常副交感神经输入,从病因层面恢复心脏节律调控能力,为实现无器械、无长期用药的介入治疗提供了新的可能<sup>[10]</sup>。此外,在房颤治疗中,以肺静脉隔离为核心的导管消融技术不断进步,显著提高了节律控制的有效性 with 持久性。最新临床证据表明,阵发性及部分持续性房颤患者在接受导管消融后 1 年无复发率可达 70%~80%,部分患者有望摆脱长期抗凝及节律控制药物,实现窦性心律的稳定维持<sup>[11]</sup>。

1.2.2 高血压:去肾神经术(Renal denervation, RDN) 高血压传统上需终身药物控制,随着导管技术和消融策略改进,多项高质量随机对照研究证实,在规范药物治疗基础上,RDN 可在不降低血压控制率的前提下减少所需的降压药种类与剂量。部分轻中度高血压患者在接受 RDN 后可在较少甚至无需长期用药的情况下维持血压稳定,提示其具备“功能性治愈”潜力<sup>[12]</sup>。

### 1.3 终末期 CVD 的结构替代与再生修复

对于不可逆结构性损伤,组织替代与再生修复可能实现功能重建,从而达到根本性治愈。再生医学与生物工程技术的融合,正在系统性重塑终末期心血管疾病的治疗边界<sup>[13]</sup>。

1.3.1 血管结构重建 传统大、中口径人工血管已广泛应用主动脉及其主要分支重建、血管旁路移植等,长期通畅率和安全性得到验证,成为血管外科的治疗手段之一。但小口径血管(<6 mm)长期受限于血栓形成、内膜增生及顺应性不匹配等挑战。近期基于脱细胞组织工程与细胞外基质技术的新型生物工程血管 Symvess(直径 6 mm)在临床研究和真实世界研究中显示出良好效果,四肢血管 30 d 二次通畅率超

过 90%，并于 2024 年 12 月获食品药品监督管理局 (Food and Drug Administration, FDA) 批准上市。该血管可在急需血管重建且自体血管不可用时替代受损动脉，实现植入后再内皮化与功能性重建，标志着血管替代向可再生生物结构转变<sup>[14]</sup>。

1.3.2 心肌修复与再生 干细胞治疗、组织工程与基因治疗构成修复不可逆心肌损伤的三大技术路径。多项随机对照研究及 Meta 分析显示，干细胞治疗可改善急性心肌梗死与慢性心力衰竭患者的左心室射血分数、缩小瘢痕面积，并呈现降低全因死亡率及不良心血管事件的趋势<sup>[15-16]</sup>。同时，基于诱导多能干细胞及组织工程技术构建的“人造心脏组织”取得重要进展，在恒河猴慢性心力衰竭模型中可长期存活并增强心室壁的收缩功能。并已在晚期心衰患者中初步验证了安全性与可行性<sup>[17]</sup>。

1.3.3 异种移植与人工心脏 基因编辑与免疫调控技术的推动异种心脏移植取得突破性进展。通过 CRISPR/Cas9 对猪心进行多基因改造，延长了移植后的生存期<sup>[18-19]</sup>。尽管免疫排斥与长期安全性仍是挑战，该技术为解决供体短缺问题提供了新的解决方案，为终末期心脏疾病的“治愈性替代”开辟了新方向。另一方面，机械循环辅助与人工心脏技术不断成熟，全磁悬浮左心室辅助装置和全人工心脏的应用显著降低了溶血和血栓的风险，其应用场景已从“移植桥接”拓展至长期支持甚至目的性治疗<sup>[20]</sup>。部分患者在机械卸载后还能够促进心肌功能恢复，进一步为心脏疾病的根治提供了新的可能<sup>[21]</sup>。

## 2 从“治疗”向“预防”转变

我国 CVD 负担沉重，“重治轻防”的模式导致过度依赖晚期治疗而忽视早期预防。CVD 的一级预防可降低 40%~70% 心血管死亡率<sup>[22-23]</sup>。然而，我国高血压、糖尿病、血脂异常的知晓率、治疗率与控制率仍普遍偏低，亟待建立覆盖全生命周期的预防体系，实现防控关口前移。

2.1 我国 CVD 的危险因素负担现状 我国高血压患病率持续上升，18 岁及以上成年人的高血压患病率达 31.6%，患病人数超过 3.3 亿<sup>[24]</sup>。知晓率、治疗率和控制率分别仅为 43.3%、38.7% 和 12.9%。大量 130~139/80~89 mmHg 的人群 15 年后约 65% 将进展为高血压，成为新增病例的重要来源<sup>[3,25-26]</sup>。糖尿病在患病率上也呈上升趋势，预计 2050 年将达到 29.1%。目前治疗率约 32.9%，总人群控制率仅为 16.5%，大量糖尿病患者处于高心血管风险状态<sup>[27-28]</sup>。血脂异常在 18 岁及以上的成年人中患病率为 38.1%，但控制率不足 5%。高危人群降胆固醇治

疗率仅 5.5%，极高危患者中也仅为 14.5%<sup>[4,29]</sup>。为有效降低 CVD 负担，需建立覆盖全生命周期的预防体系，对青少年应重点关注肥胖与高血压，对老年人则应兼顾多病共管。CVD 一级预防不仅能够显著降低发病与死亡风险，更具有突出的卫生经济学效益。世界卫生组织指出，每投入 1 元用于 CVD 预防，平均可节省约 8.5 元的治疗相关支出，体现了预防策略在资源配置方面的高成本效果比。未来可借鉴加拿大“高血压教育计划”、世界卫生组织“HEARTS 方案”等国际经验，通过全社会、多学科、政府有力支持、基层重点实施的综合协同模式，构建政府主导、多部门协作、全社会参与、基层为重点的综合防控模式，通过普及健康教育、加强危险因素的早期识别与干预，逐步降低 CVD 负担<sup>[30-31]</sup>。

2.2 提升基层医疗能力 基层医疗机构服务能力不足是 CVD 预防的重要瓶颈。在药物可及性方面，我国约 11.3% 的基层医疗机构未配备任何降压药物，仅 33.8% 可提供完整的降压药物种类<sup>[3]</sup>。人才队伍建设同样面临挑战，医学硕士毕业生中仅约 1.02% 选择进入基层工作，导致基层技术水平和慢性病管理能力与临床需求存在显著差距<sup>[32]</sup>。此外，部分高危患者因经济原因难以坚持规范药物治疗。因此，需加强基层药物供应、完善人才队伍建设与慢性病管理机制，并依托医保等政策支持降低患者经济负担，从而提升治疗依从性与防控效果<sup>[33]</sup>。

2.3 规范二级预防体系 对于已确诊患者，规范的二级预防是降低复发率与死亡率的关键<sup>[34]</sup>。当前我国二级预防仍存在依从性差、地区差异大等问题。INTERASPIRE 研究显示，我国冠心病患者的抗血小板和他汀类药物使用率较高，但部分关键药物（如  $\beta$  阻滞剂和 RAAS 类药物）的使用率仍远低于国际水平<sup>[35]</sup>。因此，需推动医疗机构规范用药，提升抗改善预后药物的处方率与长期使用率。此外，心脏康复作为包括运动处方、营养指导和心理支持等综合干预手段，可显著提升患者的运动耐力与生活质量，应将其纳入标准诊疗流程，构建预防疾病复发与提高生活质量的综合管理体系。

## 3 人文回归：向“舒适化医疗”转变

随着医疗模式从生物医学模式向“生物-心理-社会”模式转变，心血管在追求“活得长”的同时，也需关注“活得好”。“舒适化医疗”旨在通过技术创新与流程优化，最大程度减少患者的痛苦与不适，提升就医体验与生活质量。

3.1 药物治疗的便捷化与长效化 繁琐的用药方案是降低慢病患者依从性、影响生活质量的重要因素之

一,便捷化与长效化药物成为治疗 CVD 的关键发展方向。单片复方制剂将不同机制的药物整合于单片制剂中,显著减少患者“药片负担”,提高长期治疗依从性,特别适用于老年群体和多病共存患者<sup>[36]</sup>。此外,以 siRNA 药物等为代表的超长效制剂,可将每日服药转变为每年数次的注射,极大减轻患者心理负担。例如,Zilebesiran(一款长效 siRNA 降压药物)在临床研究中显示,其单次注射可持续 6 个月有效降低收缩压,为高血压患者提供了更加便捷的治疗选择<sup>[37]</sup>。此外,新型自聚集长效注射微晶可实现药物在体内稳定释放超过 3 个月,为长效缓释制剂研发提供了新思路。

3.2 临床诊疗的微创化与无痛化 外科手术微创化与介入技术无植入化是舒适化医疗在器械领域的具体体现。经导管主动脉瓣置换、二尖瓣修复等技术的成熟,使许多高龄或不耐受开胸手术的患者可通过微创方式获得治疗,具有创伤小、恢复快、住院时间短等优势。同时,在冠脉造影、电生理检查等有创操作中推广舒适化麻醉与镇静,可有效缓解患者术中痛苦与焦虑。

#### 4 未来发展方向

中国心血管学科要实现从“跟跑”到“领跑”的转变,必须构建开放、融合、创新的学科生态,打破数据孤岛与学科壁垒,通过交叉学科与人才培养,激发源头创新。

4.1 国家级心血管临床大数据平台建设 数据是智能医疗时代的基础资源,当前我国心血管临床数据分散,质量不一,形成“信息孤岛”,制约了高水平临床研究开展。亟需整合医院电子病历、医保数据、随访系统等多源数据,构建多中心、标准化、可持续更新的国家级心血管专病大数据平台。通过统一数据标准与质量控制,推动大规模真实世界研究,产出符合中国人群特征的循证医学证据,为临床指南制定、医保决策与公共卫生政策制定提供科学依据。

4.2 临床科学家培养体系建立 学科长远发展依赖于人才结构优化。未来心血管领军人才应兼具临床技能与科研能力,能够从临床实践中提炼科学问题,并通过规范研究实现转化突破。因此,应推进医学教育与科研训练模式创新,加强医学与生物信息学、工程学、材料科学等学科的交叉培养,通过联合导师制等途径培育复合型临床科学家。

4.3 其他发展方向 心血管学科的未来突破离不开多学科深度融合。人工智能在影像分析、风险预测、辅助诊断及靶点筛选中的应用前景广阔,有助于提升诊疗效率与同质化水平,但其临床价值实现依赖于高

质量数据、临床场景融合与规范监管<sup>[38-39]</sup>。同时,医工结合推动新材料与新器械快速迭代,如生物可降解材料、纳米载药系统、柔性电子器件及手术机器人等,为精准微创与智能化治疗奠定基础<sup>[40-41]</sup>。此外,未来学科发展需关注多维度拓展:除动脉系统外,应重视静脉、淋巴系统在心肌水肿、炎症调控与动脉粥样硬化中的作用<sup>[42]</sup>,为干预提供新靶点;优化老年 CVD 综合管理模式;系统研究女性心血管健康差异;深入探索肠道与口腔菌群等“第二基因组”在心血管代谢疾病中的机制<sup>[43-44]</sup>。

#### 5 小结

中国心血管学科正处在从“疾病治疗”向“健康管理”转型的关键时期。一方面,人口老龄化与代谢性危险因素高流行叠加,使 CVD 负担在较长时期内持续存在;另一方面,精准医学、介入技术、再生医学与数字医疗的快速发展,为实现疾病逆转乃至治愈提供了新的技术可能。本文提出的三大战略转型—从治疗向治愈、从治疗向预防、向舒适化医疗转变,体现了心血管医学从“以疾病为中心”向“以健康与患者价值为中心”的系统性转变。这一转型不仅依靠技术进步,更需科研范式、服务模式与人才培养体系的协同革新。通过建设国家级临床大数据平台、培育临床科学家队伍、深化多学科交叉融合,中国心血管学科有望逐步形成具有自主创新能力与人群特色的防治体系,在提升全民健康水平的同时,实现从“跟跑”到“领跑”的历史性跨越。

#### 【参考文献】

- [1] GLOBAL BURDEN OF CARDIOVASCULAR DISEASES AND RISKS 2023 COLLABORATORS. Global, Regional, and National Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors in 204 Countries and Territories, 1990-2023[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2025, 86(22): 2167-2243.
- [2] ZHENG C Y, WANG X, GU R Q, *et al*. The burden of cardiovascular disease in China: incidence estimates from national surveillance (2023) [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2025; S0735-S1097 (25)07615-6.
- [3] ZHAO D, LIU J, WANG M, *et al*. Epidemiology of cardiovascular disease in China: current features and implications[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2019, 16(4): 203-212.
- [4] 国家心血管病中心,中国心血管健康与疾病报告编写组,胡盛寿.中国心血管健康与疾病报告 2024 概要[J]. *中国循环杂志*, 2025,40(6):521-559.
- [5] ANTMAN E M, LOSCALZO J. Precision medicine in cardiology[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2016, 13(10): 591-602.
- [6] DIMMELER S, FERRI L, NIOI P, *et al*. Translation of genomics into routine cardiological practice: insights from a European Society of Cardiology Cardiovascular Round Table[J]. *Eur*

- Heart J, 2025, 46(15): 1384-1393.
- [7] BAINS S, GIUDICCESSI J R, ODENING K E, *et al.* State of gene therapy for monogenic cardiovascular diseases[J]. Mayo Clin Proc, 2024, 99(4): 610-629.
- [8] DESAI M Y, NAGUEH S F, GIUDICCESSI J R, *et al.* First-in-human study of TN-201, an AAV9 gene replacement therapy in MYBPC3-associated hypertrophic cardiomyopathy: initial safety, pharmacodynamic, and imaging results from MyPEAK-1 [J]. Cardiovasc Res, 2025, 121(17): 2628-2631.
- [9] KIM Y, LANDSTROM A P, SHAH S H, *et al.* Gene therapy in cardiovascular disease: recent advances and future directions in science: a science advisory from the American heart association[J]. Circulation, 2024, 150(23): e471-e480.
- [10] TUNG R, PUJOL-LOPEZ M, LOCKE A H, *et al.* Cardioneu-ral ablation for functional bradycardia and vasovagal *Syncope*: outcomes from the U. S. multicenter CNA registry[J]. JACC Clin Electrophysiol, 2025, 11(8): 1683-1695.
- [11] SANG C H, LIU Q, LAI Y W, *et al.* Pulmonary vein isolation with optimized linear ablation vs pulmonary vein isolation alone for persistent AF: the PROMPT-AF randomized clinical trial [J]. JAMA, 2025, 333(5): 381-389.
- [12] WANG J, YIN Y H, LU C Z, *et al.* Efficacy and safety of sym- pathetic mapping and ablation of renal nerves for the treatment of hypertension (SMART): 6-month follow-up of a randomised, controlled trial[J]. EclinicalMedicine, 2024, 72: 102626.
- [13] LE N T, DUNLEAVY M W, ZHOU W, *et al.* Stem cell thera- py for myocardial infarction recovery: advances, challenges, and future directions[J]. Biomedicines, 2025, 13(5): 1209.
- [14] MOORE E E, CURI M, NAMIAS N, *et al.* Bioengineered hu- man arteries for the repair of vascular injuries[J]. JAMA Surg, 2025, 160(2): 181-189.
- [15] LEE H, CHO H J, HAN Y, *et al.* Mid- to long-term efficacy and safety of stem cell therapy for acute myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis[J]. Stem Cell Res Ther, 2024, 15(1): 290.
- [16] KAVOUSI S, HOSSEINPOUR A, BAHMANZADEGAN JAHROMI F, *et al.* Efficacy of mesenchymal stem cell trans- plantation on major adverse cardiovascular events and cardiac function indices in patients with chronic heart failure: a meta-a- nalysis of randomized controlled trials[J]. J Transl Med, 2024, 22(1): 786.
- [17] JEBRAN A F, SEIDLER T, TIBURCY M, *et al.* Engineered heart muscle allografts for heart repair in Primates and humans [J]. Nature, 2025, 639(8054): 503-511.
- [18] GRIFFITH B P, GOERLICH C E, SINGH A K, *et al.* Geneti- cally modified porcine-to-human cardiac xenotransplantation[J]. N Engl J Med, 2022, 387(1): 35-44.
- [19] GRIFFITH B P, GRAZIOLI A, SINGH A K, *et al.* Trans- plantation of a genetically modified porcine heart into a live hu- man[J]. Nat Med, 2025, 31(2): 589-598.
- [20] WANG X Q, ZHOU X T, CHEN H B, *et al.* Long-term out- comes of a novel fully magnetically levitated ventricular assist device for the treatment of advanced heart failure in China[J]. J Heart Lung Transplant, 2024, 43(11): 1806-1815.
- [21] JAKOVLJEVIC D G, YACOUB M H, SCHUELER S, *et al.* Left ventricular assist device as a bridge to recovery for patients with advanced heart failure[J]. J Am Coll Cardiol, 2017, 69 (15): 1924-1933.
- [22] FORD E S, AJANI U A, CROFT J B, *et al.* Explaining the de- crease in U. S. deaths from coronary disease, 1980-2000[J]. N Engl J Med, 2007, 356(23): 2388-2398.
- [23] LI S D, LIU Z G, JOSEPH P, *et al.* Modifiable risk factors as- sociated with cardiovascular disease and mortality in China: a PURE substudy[J]. Eur Heart J, 2022, 43(30): 2852-2863.
- [24] CAO X, WANG X, TIAN Y X, *et al.* Trends and sociodemo- graphic patterns in hypertension prevalence and treatment in China[J]. Med, 2025, 6(11): 100808.
- [25] LI J T, ZHAO D, CAI J, *et al.* Cost-effectiveness of treatment in adults with blood pressure of 130-139/80-89 mmHg and high cardiovascular risk in China: a modelling study[J]. Lancet Reg Health West Pac, 2023, 42: 100962.
- [26] QI Y, HAN X Y, ZHAO D, *et al.* Long-term cardiovascular risk associated with stage 1 hypertension defined by the 2017 ACC/AHA hypertension guideline [J]. J Am Coll Cardiol, 2018, 72(11): 1201-1210.
- [27] ZHOU Y C, LIU J M, ZHAO Z P, *et al.* The national and pro- vincial prevalence and non-fatal burdens of diabetes in China from 2005 to 2023 with projections of prevalence to 2050[J]. Mil Med Res, 2025, 12(1): 28.
- [28] WANG L M, PENG W, ZHAO Z P, *et al.* Prevalence and treatment of diabetes in China, 2013-2018[J]. JAMA, 2021, 326(24): 2498-2506.
- [29] ZHANG M, DENG Q, WANG L H, *et al.* Prevalence of dys- lipidemia and achievement of low-density lipoprotein cholesterol targets in Chinese adults: a nationally representative survey of 163, 641 adults[J]. Int J Cardiol, 2018, 260: 196-203.
- [30] CAMPBELL N R C, MARTINEZ R, ORDUNEZ P. The esti- mated impact of changes in population hypertension control on cardiovascular disease in Canada from 2000 to 2017[J]. Can J Cardiol, 2023, 39(7): 886-888.
- [31] BANIGBE B F, MORAN A E, GUPTA R, *et al.* Lessons learned from treating 34 million people with hypertension: the global HEARTS initiative[J]. J Am Coll Cardiol, 2025, 86 (23): 2374-2387.
- [32] 陈欢, 苏懿, 张晓波. 基础医学硕士研究生就业现状分析与思考——以上海交通大学基础医学院为例[J]. VDE, 2025, 1 (20): 145-148.
- [33] SU M, ZHANG Q L, BAI X K, *et al.* Availability, cost, and prescription patterns of antihypertensive medications in primary health care in China: a nationwide cross-sectional survey[J]. Lancet, 2017, 390(10112): 2559-2568.
- [34] BAIGENT C, BLACKWELL L, COLLINS R, *et al.* Aspirin in the primary and secondary prevention of vascular disease: col- laborative meta-analysis of individual participant data from ran- domised trials[J]. Lancet, 2009, 373(9678): 1849-1860.
- [35] MCEVOY J W, JENNINGS C, KOTSEVA K, *et al.* Variation in secondary prevention of coronary heart disease: the INTER- ASPIRE study[J]. Eur Heart J, 2024, 45(39): 4184-4196.

- chemic injury[J]. *Gen Physiol Biophys*, 2007, 26(1): 3-13.
- [10] BANDYOPADHYAY D, CHATTOPADHYAY A, GHOSH G, *et al.* Oxidative stress-induced ischemic heart disease: protection by antioxidants[J]. *Curr Med Chem*, 2004, 11(3): 369-387.
- [11] MANDL M, LIEBERUM M K, DEPPING R. A HIF-1 $\alpha$ -driven feed-forward loop augments HIF signalling in Hep3B cells by upregulation of ARNT[J]. *Cell Death Dis*, 2016, 7(6): e2284.
- [12] MA Q. Role of nrf2 in oxidative stress and toxicity[J]. *Annu Rev Pharmacol Toxicol*, 2013, 53: 401-426.
- [13] BELLEZZA I, GIAMBANCO I, MINELLI A, *et al.* Nrf2-Keap1 signaling in oxidative and reductive stress[J]. *Biochim Biophys Acta Mol Cell Res*, 2018, 1865(5): 721-733.
- [14] WANG S, CAI M L, WANG Y, *et al.* Dietary Clostridium butyricum metabolites mitigated the disturbances in growth, immune response and gut health status of Ctenopharyngodon idella subjected to high cottonseed and rapeseed meal diet[J]. *Fish Shellfish Immunol*, 2024, 154: 109934.
- [15] HOCK M B, KRALLI A. Transcriptional control of mitochondrial biogenesis and function[J]. *Annu Rev Physiol*, 2009, 71: 177-203.
- [16] SHANG W X, HUANG Y L, XU Z Q, *et al.* The impact of a high-carbohydrate diet on the cognitive behavior of mice in a low-pressure, low-oxygen environment[J]. *Food Funct*, 2025, 16(3): 1116-1129.
- [17] ZHU Y X, ZHANG X Y, ZHANG L, *et al.* Perilipin5 protects against lipotoxicity and alleviates endoplasmic reticulum stress in pancreatic  $\beta$ -cells[J]. *Nutr Metab*, 2019, 16: 50.
- [18] LEE S R, HEO J H, JO S L, *et al.* Progesterone receptor membrane component 1 reduces cardiac steatosis and lipotoxicity via activation of fatty acid oxidation and mitochondrial respiration[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 8781.
- [19] SZTALRYD C, BRASAEMLE D L. The perilipin family of lipid droplet proteins: gatekeepers of intracellular lipolysis[J]. *Biochim Biophys Acta Mol Cell Biol Lipids*, 2017, 1862(10 Pt B): 1221-1232.
- [20] SEMENZA G L. HIF-1 and mechanisms of hypoxia sensing[J]. *Curr Opin Cell Biol*, 2001, 13(2): 167-171.
- [21] WEI M, MA R, HUANG S L, *et al.* Oroxylin A increases the sensitivity of temozolomide on glioma cells by hypoxia-inducible factor 1 $\alpha$ /hedgehog pathway under hypoxia[J]. *J Cell Physiol*, 2019, 234(10): 17392-17404.
- [22] KARAR J, MAITY A. PI3K/AKT/mTOR pathway in angiogenesis[J]. *Front Mol Neurosci*, 2011, 4: 51.
- [23] TANG J, YANG Y, CHEN J, *et al.* Effects of lentivirus-mediated RNA interference of HIF-1 $\alpha$  and PTEN on oxygen-glucose deprivation injury in primary cultured rat neurons[J]. *Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao*, 2021, 41(12): 1795-1800.
- [24] DONG Y H, LIU Y, TANG J, *et al.* Zhisou powder displays therapeutic effect on chronic bronchitis through inhibiting PI3K/Akt/HIF-1 $\alpha$ /VEGFA signaling pathway and reprogramming metabolic pathway of arachidonic acid[J]. *J Ethnopharmacol*, 2024, 319(Pt 1): 117110.
- [25] SAMADIAN A, KRATOCHVÍLOVÁ M, HOKYŇKOVÁ A, *et al.* Changes in gene expression in pressure ulcers debrided by different approaches - a pilot study[J]. *Physiol Res*, 2023, 72(S5): S535-S542.

(收稿日期:2025-05-14;修回日期:2026-02-02;编辑:刘灵敏)

(上接第 317 页)

- [36] FERRO E G, SATHEESH G, CASTELLANO J, *et al.* WHF roadmap on single pill combination therapies[J]. *Glob Heart*, 2025, 20: 73.
- [37] DESAI A S, WEBB D J, TAUBEL J, *et al.* Zilebesiran, an RNA interference therapeutic agent for hypertension[J]. *N Engl J Med*, 2023, 389(3): 228-238.
- [38] JOHNSON K W, TORRES SOTO J, GLICKSBERG B S, *et al.* Artificial intelligence in cardiology[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 71(23): 2668-2679.
- [39] SONG J L, WANG X L, WANG B, *et al.* Learning implementation of a guideline based decision support system to improve hypertension treatment in primary care in China: pragmatic cluster randomised controlled trial[J]. *BMJ*, 2024, 386: e079143.
- [40] MAO Y A, SHI X Z, SUN P Y, *et al.* Nanomedicines for cardiovascular diseases: lessons learned and pathways forward[J]. *Biomaterials*, 2025, 320: 123271.
- [41] CICHA I, SINGH R, GARLICH S C D, *et al.* Nano-biomaterials for cardiovascular applications: clinical perspective [J]. *J Control Release*, 2016, 229: 23-36.
- [42] MOHANTA S K, HERON C, KLAUS-BERGMANN A, *et al.* Metabolic and immune crosstalk in cardiovascular disease[J]. *Circ Res*, 2025, 136(11): 1433-1453.
- [43] LANGENBERG C, HINGORANI A D, WHITTY C J M. Biological and functional multimorbidity-from mechanisms to management[J]. *Nat Med*, 2023, 29(7): 1649-1657.
- [44] REGITZ-ZAGROSEK V, GEBHARD C. Gender medicine: effects of sex and gender on cardiovascular disease manifestation and outcomes[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2023, 20(4): 236-247.

(收稿日期:2026-01-27;修回日期:2026-02-05;编辑:刘灵敏)