

血管信息与健康工程

《黄帝内经》云：“血脉和利，精神乃居。”血管是人体循环系统的核心组成，是氧气、营养物质与代谢废物等运输的重要通道，维系着机体各器官的协调运转。血管健康水平是衡量国民健康素质的重要指标，直接决定个体生命质量，深刻影响社会医疗支出，更关系国家公共卫生安全与医疗保障体系长效可持续运转。血管信息与健康工程是以系统生物学方法与工程医学技术，解析血管网络多维度、多尺度的内涵，阐明血管与脏器、组织、细胞之间的相互作用和动态变化规律，研发血管网络系统监测与调控技术，实现和维护“整体健康”的全方位、全周期管理理念与策略，其是信息、材料、工程技术与临床转化深度交叉的复合型系统工程。

推进血管信息与健康工程创新发展，既是落地健康中国战略的核心抓手，也是中国由人口大国迈向健康强国的必由之路。

1 时代背景：血管疾病防控的战略紧迫性

根据《中国心血管健康与疾病报告2024 概要》，心血管病(cardiovascular disease, CVD)目前是中国城乡居民的首位死因，截止到2023年，中国CVD患者总数已突破3.3亿，且随着人口老龄化进程加快和居民生活方式深刻变化，CVD危险因素的暴露持续扩大。预测模型显示，2020—2030年间，CVD的发病率、死亡率与伤残调整生命年率将呈

现持续上升趋势，给社会带来日益沉重的经济与照护负担。

在此背景下，血管健康已不再是单纯的临床医学议题，而是上升为国家层面的战略性公共卫生挑战。传统的CVD防控策略多聚焦于终末期事件(如心肌梗死、脑卒中)的抢救与治疗，而对血管功能的早期退化、结构性病变的渐进演变，缺乏系统性的监测与干预手段，面临着“血管信息盲区”的根本性制约。

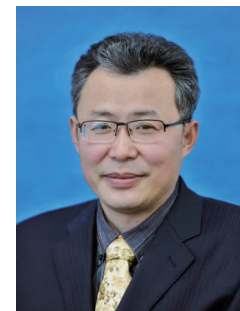
血管信息与健康工程是生命科技时代守护国民健康、破解血管疾病难题的核心支撑，是连接前沿科技与民生福祉的重要桥梁，更是建设健康中国、实现全民健康长寿的战略基石。

2 核心命题：血管年龄——预测CVD风险的直观依据

开滦队列对40~60岁人群的长期随访显示，血管年龄每年年轻1岁，CVD风险降低约26%。这意味着血管状

态可测量性、可干预性将成为CVD防控的关键突破口。然而，现实中血管年龄的评估方式仍显粗糙，主要依赖常规临床指标(如血压、血脂、血糖)与少数生物标志物，缺乏对血管壁结构、功能、代谢等多维度信息的融合建模能力。

若将血管视为一个“多物理场耦合系统”，其信息维度包括：力学(血压、剪切应力)、电学(心电、阻抗)、光学(近红外、光谱)、化学(炎症因子、氧化应激)、热学(局部温度变化)等。如何实现对这些信息的高分辨率、多尺度、动态化采集，并借助人工智能(artificial intelligence, AI)技术进行融合建模，是血管信息与健康工程面临的核心科学问题。



顾宁

中国科学院院士
生物医用纳米材料学家

现任中国医学科学院学术咨询委员会学部委员、南京大学教授、南京大学医学院附属鼓楼医院临床医学研究院院长、江苏省血管信息与健康工程医学重点实验室主任。研究方向为生物医用纳米材料。

南京大学医学院，
南京 210093

3 现阶段瓶颈:预防、诊断、治疗 3大环节仍存挑战

1) 预防:急性心梗、肺栓塞、主动脉夹层等危重症,往往在发病前心电图、超声等常规检查中无明显异常。传统免疫检测技术的灵敏度有限,难以捕捉到血管壁微弱的炎症激活或内皮损伤信号。这导致“早防早诊早治”在临床实践中难以落地,患者常在毫无预警的情况下进入急危状态。

2) 诊断:目前主流血管成像技术包括光学成像、超声、计算机断层扫描(computed tomography, CT)、磁共振造影等,虽然在宏观结构成像方面日趋成熟,但其分辨率仍难以识别微小血管或早期斑块的分子事件。更重要的是,影像信息与临床疾病表型之间的对应关系缺乏精准量化指标,导致诊断结果高度依赖医生经验。例如,动脉粥样硬化斑块的稳定性判断,目前尚无统一标准,易造成对稳定斑块的过度治疗或对不稳定斑块的漏治。

3) 治疗:当前CVD诊疗流程中,诊断与治疗环节往往分离,患者可能需要经历多次检查、多次创伤性操作,躯体不适累积。同时,单一诊断技术的准确率有限,缺乏多模态融合决策支持系统,使得治疗策略的制定存在较大不确定性。尤其在高龄、多病共存的复杂患者中,统一方案难以覆盖个体差异。

4 未来路径:血管信息与健康 工程的战略方向

面对上述挑战,亟需构建一个从信息采集到精准干预、从材料研发到健康管理的全链条技术体系。

1) 血管信息工程:多尺度、

多物理场的信息融合与AI建模。血管信息工程的核心任务是发展新型血管信息采集手段,如可穿戴柔性电子传感器(用于连续血压、脉搏波、阻抗监测)、高分辨血管内光学相干断层成像(optical coherence tomography, OCT)、分子影像探针(用于炎症或钙化活性成像)、微创植入式多参数传感芯片等。在此基础上,利用深度学习、图神经网络、时序预测模型等AI技术,对多源异构数据进行时空对齐、特征提取与动态建模,构建个体化的“血管数字孪生”。该数字孪生不仅能够预测未来3~5年的血管疾病风险,还能模拟不同干预策略(药物、生活方式、介入治疗)的潜在效果,有望实现从“群体统计风险”到“个体因果推断”的跃升。

2) 血管治疗药物与递送系统:诊疗一体化。诊疗一体化是未来血管疾病治疗的重要方向。通过交叉学科协同,发展兼具成像诊断与治疗功能的纳米材料,实现对动脉粥样硬化斑块、血栓等病灶的主动靶向。磁性纳米材料作为高性能纳米材料,凭借独特的超顺磁性、优异的生物相容性、可控的靶向修饰特性及良好的多模态成像潜能,为血管病变的精准诊断、靶向给药与疗效实时评估提供了重要技术支撑,可有效赋能血管疾病精准诊疗。

3) 血管组织工程与材料:人造血管与功能支架。对于严重狭窄、多发闭塞或先天性血管畸形的患者,自体血管移植常受限于取材来源与匹配度。高性能生物材料制备的进步,如3D生物打印、静电纺丝、水凝胶等,为人造血管与功能性血管支架的开发提供了可能。未来,结合干细胞技

术与原位组织诱导策略,有望开发出具有主动重构能力的血管替代物,为血管疾病治疗提供革命性替代方案。

4) 血管保健与健康管理:AI大模型驱动的全生命周期监测。健康管理的本质是从“治病”走向“防病”。通过可穿戴设备、家庭监测终端、基层医疗检测点的协同部署,实现对血管状态的长周期、低负荷、连续性监测。采集的数据汇聚至云端或边缘计算平台,由AI大模型进行个体化基线建立、趋势分析与异常预警。

5 结语:以血管信息与健康工程 构筑健康中国之基

从《黄帝内经》的“血脉和利,精神乃居”到当代多模态血管信息融合与AI精准干预,人类对血管健康的认知正经历从宏观经验到微观量化、从被动治疗到主动预防、从单点诊断到全生命周期管理的深刻变革。

血管信息与健康工程是生命科技时代守护国民健康、破解血管疾病难题的核心支撑,是连接前沿科技与民生福祉的重要桥梁,更是建设健康中国、实现全民健康长寿的战略基石。近年来,中国在CVD领域的研究呈现蓬勃发展势头,数量与质量都不断提升。目前,中国CVD领域论文数量位居全球第2位,仅次于美国。面对新时代机遇与使命,要打破学科壁垒,贯通工程技术与临床需求,融合大数据与个体关怀,在多学科协同、制度创新与产业升级的共同推动下,在这一领域走出一条从跟踪模仿到自主引领、从技术突破到普惠应用的发展道路,为全球血管疾病防控贡献“中国方案”。