

生物医学人工智能：开辟守护生命健康新范式

医学关乎人类生命健康核心需求，是最需要且最适合人工智能深度赋能的领域之一。当大模型浪潮席卷全球时，生物医学领域正迎来一场范式革命。从微观分子到宏观人体，从疾病诊疗到脑际通讯，人工智能将重塑生命健康的未来图景。

中国生物医学人工智能迅猛发展，走出了具有鲜明特色的创新路径。首先是医工交叉的深度融合，突破了医学成像、脑机接口、精准诊断等核心技术瓶颈；其次是临床需求的前置驱动，针对医学影像快速扫描、癌症筛查和诊断、神经退行性疾病干预等重大健康需求，开发适配中国人特征的专用模型系统；最后，在软硬协同的全链技术突破下，实现了智能算法、核心器件和整机装备的全面发展，完成了从理论突破到产业转化的完整闭环。

1 医学成像：从结构成像迈向高灵敏功能成像

提升医学成像的速度和质量是中国重大临床需求，具有重要的社会经济价值。传统医学影像技术长期受制于物理系统与计算能力的双重约束，导致成像速度和质量的矛盾。以磁共振成像为例，其单次扫描耗时往往超过20 min，设备日均服务能力有限，对心脏、肠道等运动器官的成像更面临严峻挑战。人工智能为突破磁共振成像速度与质量的瓶颈提供了新契机。中国

科学家率先提出智能磁共振快速成像技术框架，将磁共振物理先验嵌入人工智能架构，扫描速度和图像质量世界领先，实现了“又快又清”的磁共振成像系统。该技术在国产磁共振系统获得成功应用，使扫描效率提升3倍以上，推动磁共振成像从静态器官拍照到动态生理摄像的革新。

技术突破带来临床应用的效能提升。例如，传统磁共振对前列腺检查采用4 mm层厚扫描可能遗漏微小病灶，而人工智能赋能的1.5 mm超薄层成像

清晰呈现直径仅3 mm的癌变区域；心脏磁共振动态捕捉技术可完整记录单个心动周期内的心肌运动，为心脏病诊断提供全景式的时空信息；自主研发的超高场

全身成像体系在神经系统、腹部器官等领域的成像精度达到国际领先水平。更值得关注的是，基于扩散模型的新一代人工智能成像技术正在突破物理极限，通过对海量高质量影像数据的学习，实现通过部分采样数据生成超分辨率图像的能力，为突破医学影像的时空分辨率边界开辟全新路径。2024年，基于智能动态磁共振成像的创新成果入选北美放射学年会6大突破技术。

2 脑机接口：从植入电极读取走向无创脑际自由通讯

脑机接口技术的终极目标在于建立人脑之间的脑际通讯，这依赖于人脑与外部设备间的双向信息高速公路。



郑海荣

仪器仪表与传感专家
中国科学院院士

现任南京大学副校长，中国科学院深圳先进技术研究院研究员，医学成像科学与技术系统全国重点实验室主任，国家高性能医疗器械创新中心主任，研究方向为医学成像技术与仪器设备、声学/磁学生物物理。

南京大学，南京
210023

当前侵入式技术虽能实现运动意图解码,但手术风险制约其广泛应用;非侵入式技术则受限于信号精度不足的瓶颈。新一代技术突破聚焦于无损读脑与精准控脑的统一,是实现脑际通讯的必由之路。

针对无损读脑技术,人工智能算法能够利用神经功能成像数据,解析并重建所对应的高级脑功能状态,如感知、意图或语义内容。功能磁共振技术已实现对视觉意象和语言思维的语义重建,无创超声脑功能成像技术以百微米级分辨率捕捉灵长类动物运动意图。超分辨超声显微成像系统实现自由活动动物的脑血管动态监测,其微型探头可以捕捉血管微循环变化;光声融合成像技术突破声学衍射极限,实现活体脑组织三维动态观测。这些技术创新为理解神经血管耦联机制提供全新工具,为神经解码提供了全新途径。

对于精准控脑技术,人工智能则扮演着核心决策引擎的角色,通过实时分析神经反馈信号,动态调整刺激策略,形成精准、自适应的闭环神经调控系统。基于人工智能的超声神经调控技术通过声辐射力靶向激活离子通道实现神经精准调控,其中柔性声学超表面仅 20 μm 厚度即可实现声场的全振幅调制。中国自主研发的超声调控系统在临床应用中展现显著疗效:对难治性癫痫患者颞叶区的精准干预,使异常脑电活动减少 50% 以上;针对抑郁症患者背外侧前额叶的调控,显著改善情绪症状,其疗效在治疗结束后 4 周仍持续显现;在针对昏迷患者治疗中,经 20 天靶向干预,成功唤醒深度意识障碍患者。

当前全球脑科学竞争已进入新阶段。中国在此领域的战略优势在于建立特色技术路线:发展多模态融合成像技术,构建全脑尺度神经图谱;探索声遗传学等前沿方向,破解神经信息编码机制;通过磁共振引导超声调控系统,实现无创靶向干预。这些突破为最终实现脑际通讯的重大目标奠定科学基础。

3 疾病诊疗:从早期诊断到个性化智能诊疗

人工智能正以前所未有的深度和广度,深刻变革着疾病诊断与治疗的传统模式。这一变革的核心驱动力,源于跨尺度多模态疾病信息的指数级增长,包括分子水平的基因组、蛋白质组、代谢组数据,细胞组织层面的数字病理切片数据、高分辨率影像学数据,再到临床表型层面的电子病历、实时生命体征监测等。面对如此复杂的生物学大数据云,人工智能模型迫切需要在影像-病理-基因跨尺度计算和深度融合这一关键领域取得突破。这一突破的目标在于构建个体化疾病数字孪生模型。未来的智能诊疗平台将能够解析患者的跨尺度多模态检查数据,并快速生成高度个性化、量化、动态演进的疾病诊断报告,并据此制定量体裁衣式的精准治疗策略。

更为颠覆性的前景在于定制化干预手段的进步。基于患者特异性的靶点结构和生物学通路状态,智能模型能模拟数以亿计的分子结构,精准预测其与靶点的亲和力、药代动力学特性和潜在毒性,从而在计算环境中完成药物分子的设计、筛选和优化。随后,结合实验室自动化和柔性制

药技术,可以在短时间内以相对低的成本合成交付个体化的靶向药物或治疗性生物制品。这一系列技术环节都已经部分实现了智能化,例如快速成像、智能诊断、智能决策、智能筛药、智能制造等。这一融合了精准诊断、个性化治疗与按需制药的未来医疗图景,代表着医学技术的革命性进步,其战略意义和社会价值值得高度重视与前瞻性布局。

面对生物学人工智能的蓬勃态势,我们需清醒认识到其中的核心挑战。在数据壁垒方面,医疗数据的孤岛化和标注质量差异严重制约模型泛化能力,亟需建立涵盖从分子到人体的宏微观生物学大数据平台与标准化体系;在算法瓶颈层面,跨尺度数据融合能力不足限制了对复杂生命系统的整体认知,应重点发展跨尺度多模态预训练大模型;伦理边界维度,脑机接口等颠覆性技术需建立审慎的治理框架进行前瞻性监管,促进脑际通讯技术的平稳快速发展。

生物学人工智能的愿景在于深度融合现实世界的人体健康规律与数据空间的人工智能模型,构建理解生命、守护健康的智能系统。这种新型生物学智能体既能解读分子层面的生命语言,又能把握人体系统的运行规律;既可无创透视疾病形态和功能,又能精准调控人体生理进程。在这场生命健康技术革命中,中国科研力量开始扮演越来越重要的核心角色。在不远的未来,我们终将迎来疾病可防治、健康可管理、衰老可干预的生物学人工智能新纪元。