



主管单位:中国科学院  
主办单位:中国科学报社  
学术顾问单位:  
中国人健康科技促进会  
国内统一连续出版物号:CN11-0289

学术顾问委员会:(按姓氏笔画排序)

中国科学院院士 卞修武  
中国工程院院士 丛斌  
中国工程院院士 吉训明  
中国科学院院士 陆林  
中国工程院院士 张志愿  
中国科学院院士 陈凯先  
中国工程院院士 林东昕  
中国科学院院士 饶子和  
中国工程院院士 钟南山  
中国科学院院士 赵继宗  
中国工程院院士 徐兵河  
中国科学院院士 葛均波  
中国工程院院士 廖万清  
中国科学院院士 滕皋军

编辑指导委员会:

主任:  
赵彦  
夏岑灿

委员:(按姓氏笔画排序)

丁佳	王岳	王大宁	计红梅
王康友	朱兰	朱军	孙宇
闫洁	刘鹏	祁小龙	安友仲
邢念增	肖洁	谷庆隆	李建兴
张明伟	张思玮	沈根兴	张海澄
金昌晓	赵越	赵端	胡学庆
栾杰	薛武军	魏刚	

总编辑:张明伟

主编:魏刚

执行主编:张思玮

排版:郭刚、蒋志海

校对:何工劳

印务:谷双双

发行:谷双双

地址:

北京市海淀区中关村南一条乙3号

邮编:100190

编辑部电话:010-62580821

发行电话:010-62580707

邮箱:ykb@stimes.cn

广告经营许可证:

京海工商广登字 20170236 号

印刷:廊坊市佳艺印务有限公司

地址:

河北省廊坊市安次区仇庄乡南辛庄村

定价:2.50 元

本报法律顾问:

郝建平 北京灏礼默律师事务所

院士之声

## 赵继宗:网络神经外科时代已至

●本报记者 张思玮



赵继宗

“随着高级神经影像学、大数据技术及人工智能的飞速发展,连接组学、全脑建模、基于脑网络的神经调控、脑机接口(BCI)以及现代神经外科复合手术室技术平台的搭建应用,为神经外科手术带来了全新理念与模式变革,标志着网络神经外科时代的到来。”近日,中国科学院院士赵继宗在《中华医学杂志》发表的题为《网络神经外科学发展及技术应用新进展》的文章指出,当前人类对大脑功能定位的认识已从简单的脑功能定位发展为交互连接的复杂脑网络系统。

### 新技术带来跨越式发展

20世纪初期,神经外科拉开了百年历史帷幕,历经经典神经外科学阶段、显微神经外科学阶段和微创神经外科学阶段,脑功能定位探索一直在进行中。进入21世纪,传统的大脑皮质功能“定位论”已逐渐被“大脑回路”这一新概念取代。人们认识到,言语功能通过多模态、大规模脑网络系统的动态调节与并行处理来实现。

所谓的网络神经外科,是指以研究及保护脑功能网络拓扑为基础,以连接组学分析、全脑建模及脑网络神经调控等方法为手段,结合微创手术及脑机接口技术,辅助医师制定个体化诊疗方案。其旨在保护并恢复患者脑功能。

那么,网络神经外科学的发展基于当前哪些技术方法快速发展?

赵继宗告诉《医学科学报》,主要有连接组学、全脑建模、基于脑网络的神经调控、BCI、现代神经外科复合手术室等。

连接组学是研究脑连接组的学科,借助大数据分析探索大脑结构和功能连接。神经外科医师可通过病变网络映射技术深入理解神经系统疾病机制,实现术前个性化评估与手术规划,最大限度地保护大脑功能。此外,将连接组学与神经调控结合,可诱导神经可塑性并加速术后功能康复进程。

全脑建模可描绘脑网络动力学理论,该技术将大脑构想为由相互关联区域构成的复杂网络,网络节点由神经成

特别提到了BCI在不同功能障碍中的研究进展。

BCI技术作为神经和精神疾病治疗前沿,正逐步展现其在解决运动、认知、意识及感觉障碍方面的巨大潜力。

具体来说,在运动障碍领域,基于BCI可创建神经假体装置,通过解码神经活动信号并将其转为外部设备指令,帮助脊髓损伤、肌萎缩侧索硬化等患者控制外部设备,促进患者肢体运动功能恢复。未来该技术的临床试验及应用需提升感觉的真实性、运动的精确性以及功能恢复的多元性。

对于意识障碍患者,BCI技术提供了可靠的测量与评估手段,能够识别传统方法难以捕捉的意识指标,助力患者与外界沟通。

在认知与精神障碍管理方面,BCI技术通过捕获和分析脑电图信号中细微的早期神经活动变化,可实现阿尔茨海默病(AD)、抑郁症等疾病的早期诊断与实时监测,弥补传统评估手段的不足。

此外,BCI技术在听力、视力、睡眠障碍及癫痫、帕金森病等疾病的诊疗及康复管理中同样潜力巨大。

尽管目前已取得初步成果,赵继宗指出,BCI技术的成熟应用之路仍漫长。BCI发展仍面临长期植入物生物相容性、安全性及伦理监管等挑战。为实现其广泛应用,未来需进行更多技术创新,如双向、高性能BCI系统,算法优化,开发闭环刺激系统,并加强跨学科合作与法规建设,推动BCI技术规范、标准化,从而确保其安全有效。

展望未来,赵继宗认为,随着计算神经科学、人工智能及机器学习技术的飞速发展,新的脑网络分析方法不断涌现,如脑网络通信模型与脑网络多变量分析等。未来仍需加速技术升级换代,以进一步深化对脑网络运行机制的认识,促进网络神经外科学技术成为强有力的临床决策支持工具,从而最大限度地保护并恢复患者脑功能。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.3760/cma.j.cn11>

2137-20241114-02551

像定义,网络边缘及权重基于神经成像或化学示踪确定。“全脑模型能够模拟虚拟治疗效果、评估脑病理对网络影响、模拟癫痫网络并预测传播路径,从而指导个性化治疗。”赵继宗说。

神经调控可通过植入或非植入、物理或化学手段,兴奋、抑制或调控神经元或神经网络信号转导。赵继宗表示,随着脑网络概念深化和技术创新,神经调控理念正经历快速变革。以深部脑刺激(DBS)为例,当前研究范式从对局部靶点影响转向分布式DBS网络效应。整合术前脑网络数据,能预测患者对神经调控的反应,识别潜在获益群体。结合连接组学和全脑建模,将开启个性化脑网络引导神经调控新纪元。

“BCI则利用脑电图、功能性近红外光谱、脑磁图及皮质脑电图等多种技术收集大脑活动信号,将其转化为计算机或其他设备的操作指令,使用户不依赖神经或肌肉,仅通过思维就能控制机器和设备,从而实现人机交互。”赵继宗表示,BCI在运动障碍、意识障碍、认知及精神障碍等多种功能障碍的诊疗及康复管理中具有极大的应用潜力。

最后,集成术中磁共振、血管造影与介入系统、术中唤醒麻醉、无框架立体导向机器人及电生理监测等前沿技术的现代神经外科复合手术室为网络神经外科学实施提供了重要保障。

### 在不同疾病诊治中展示潜能

“网络神经外科学的理论与技术已经在脑肿瘤、癫痫、脑血管病、帕金森病等疾病诊疗过程中有所展现。”赵继宗