



赵国光

首都医科大学宣武医院院长赵国光： 脑机接口临床转化的“宣武实践”

神经系统疾病已成为全球疾病负担的首要原因。

根据《柳叶刀-神经病学》发表的数据,2021年全球约34亿人(占全球人口43.1%)罹患各类神经系统相关疾病,合计造成4.43亿伤残调整寿命年(DALYs);1990—2021年,全球神经系统疾病总疾病负担DALYs增长18.2%。结合《中国神经系统疾病报告2024》同期测算数据,2021年我国神经系统疾病患病人数超4.68亿,每年因此死亡328万人,占全国全因死亡人数的28%。

这些数字背后是卒中、新生儿脑病、偏头痛、阿尔茨海默病及其他痴呆、糖尿病性神经病变、脑膜炎、癫痫、早产相关神经系统并发症、孤独症谱系障碍、神经系统肿瘤等十大疾病。

面对如此沉重的疾病负担,脑机接口的临床应用前景十分广阔。然而,该领域仍存在大量待攻克难题,需要新一代神经科研工作者与临床医师携手,共同应对行业全新挑战。

多脑区协同调控将成未来方向

将神经外科拍摄的大脑皮层影像与天体学家获取的宇宙深空照片对比,不难发现,人脑恰似一个微型宇宙,成年人

脑含有860亿个神经元。

但目前人类仅完整解析了成年果蝇约14万个神经元,以及其超过5000万个突触连接;科研界至今仍未绘制出小鼠完整的全脑连接组图谱。若借用摩尔定律类比脑连接组图谱的解析效率推算,要完整测绘包含860亿神经元及海量突触的人脑全连接组,耗时将超过百年。

不过,在大脑运动、语言功能的解码研究中,各类功能都对应固定脑区,可实现局部神经信号的采集与解码。这正是脑机接口得以成立的科学基础。

神经外科发展史上,彭菲尔德教授自1937年起,通过术中电刺激癫痫患者大脑皮层,绘制出经典的皮质小人图谱。时隔近90年,图谱中标注的肢体体感投射区,至今仍是脑机接口电极植入的核心靶点。

近期,昌平实验室脑科学与类脑研究部首席科学家刘河生团队依托功能磁共振成像,对超800例人脑多模态影像开展系统分析,在帕金森病研究中识别出调控全身运动与肢体协同的关键功能网络——躯体-认知行动网络(SCAN环路)。这项脑环路新发现,也为多脑区协同式脑机接口的研发提供了关键理论启发。

未来脑机接口的发展趋势,将实现额叶、顶叶等多脑区协同调控。现阶段脑机接口电极植入仍局限于感觉运动区,多脑区同步植入将成为发展方向。但该方案落地存在显著技术瓶颈:动物实验中可反复植入电极,而人体反复置入电

极会造成较大脑组织损伤,实现难度更高。只有整合多区域神经信号,脑机接口才能精准复刻人类的主观意图与自主运动,回归脑科学研究的核心本质。

临床应用面临四大挑战

宣武医院自2018年起开展无创及植入式脑机接口相关临床探索,早期无创脑机接口研究与杜克大学Miguel Nicolelis教授团队深度合作。双方联合推进的Walk Again Project(重拾行走计划)项目,授权宣武医院设立亚洲首家WAP研究中心,在中国开展脊髓损伤受试者临床试验,依托配套站立康复外骨骼控制设备,完成无创脑机接口的脑机接口功能康复训练。

目前,宣武医院团队已完成多例自主研发植入式脑机接口手术。其中代表性成果包括去年5月与华山医院联合牵头完成了国际首个硬膜外脑机接口GCP临床试验,于今年3月取得Ⅲ类医疗器械注册证,这也意味着整套植入系统已实现完整闭环。而另一项突破性进展则是与天坛、华山联合牵头的“北脑一号”GCP临床试验,于今年5月正式启动,包含适配的颅内植入靶点、128通道信号采集模块、蓝牙无线传输与体内外充电配套系统。患者术后一个月开机调试,依托采集到的神经信号开展抓握训练与智能动力手套康复训练;现阶段病房内已有受试者通过系统化康复训练,上肢运动功能得到显著改善。

针对渐冻症(ALS)人群,宣武医院主要收治常规型ALS患者。依托植入式脑机脑电信号转码与专属中文语言解码技术,系统可还原患者脑意图语音并外放,帮助丧失语言能力的患者完成基础阅读、日常交流。面向未来,团队规划了个性化语音重建方案:在患者出现失语症状前录制专属原声,待后期语言功能逐步退化后,通过脑电解码还原、生成患者本人原生音色,实现个性化言语重建。

结合临床落地现状来看,现阶段脑机接口临床应用主要面临四大维度的核心难题:一是适应证不明确,存在“为谁而治”的困惑,目标人群界定模糊、治疗定位是功能替代还是能力增强尚无统一标准,同时还要权衡治疗性价比与患者的临床受益优先级;二是解码机制不清楚,存在“因果鸿沟”的核心障碍,人脑意图与外在动作的对应机制尚不明确,系统泛化鲁棒性不足,且大脑神经可塑性会持续干扰信号解码稳定性;三是植入后患者长期管理难度大,设备植入人体后面临硬件长期可靠性、信号性能逐年衰减,以及患者术后心理、社会适应等系列长期共存问题;四是数据平台安全风险突出,脑电数据具备极高隐私敏感性,存在数据滥用、网络恶意攻击隐患,需要持续保障数据完整存储与使用全流程安全。

未来,脑机接口需要新一代神经科研工作者与临床医师携手,共同应对这些行业挑战。

(3~6版由本报编辑部采访整理)

(上接第4版)

在临床深化过程中,若脑机接口对癫痫、抑郁等神经及精神类疾病的功能刺激有效,需持续探索其作用机制与时效性,研发可实时监控、及时预警的设备,实现与神经科学的深度融合。

在临床载体建设层面,全国多地医疗机构已纷纷布局相关临床研究与应用,产业生态格局加速形成。在天津

大学脑机交互与人机共融海河实验室和天津市环湖医院等机构紧密合作中,作为领域特邀专家,我深度参与了相关临床攻关规划,旨在为行业筑牢产学研医转化阵地。

深耕行业多年,我深知医疗脑机

人机共生连接美好未来

领域标准建设的战略意义。团队目前正在多维完善细分领域标准体系搭建,推动制定产品标准、行业标准、国家标准,并且正在推动制定国际标准。当下全球脑机产业竞争中,中国必须掌握更多国际标准话语权,这是国家硬核

技术实力的直观体现,更是我国深度参与全球科技治理、共建人类卫生健康共同体的关键抓手。

脑机接口是开启美好生活的重要一步。科研人员应携手奋进,秉持“做天下大事”的理念,立足人机共生新时代,深耕医疗脑机赛道,向世界输出中国标准与中国技术,交出属于中国的原创答卷。