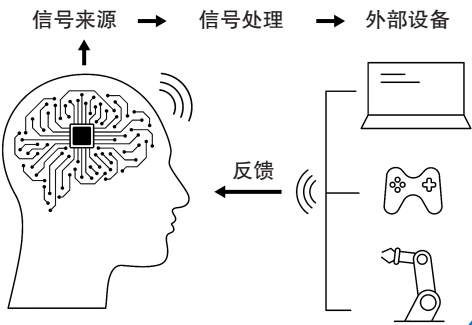


脑机接口「沪」动未来

临港实验室 李澄宇研究员 赵斌博士 贾婧博士 伊国良博士

话题主持:
本报记者 马亚宁 张炯强

帮助瘫痪患者用意念操控外骨骼或机械臂,重新“站”起来、“动”起来;为失语者重建“心灵之声”,找回表达的能力;解码脑内“风暴”,通过监测脑信号为抑郁症、癫痫、帕金森病患者提供个性化诊疗和精准神经调控……随着越来越多的脑机接口临床试验患者用脑控重获身心自由,用光标重新拥抱生活,“脑机接口”四个字也正在甩开科幻语境,向现实奔跑而来。



脑机接口:将极小的电极植入大脑,利用电流让电脑和脑细胞“互动”,可以实现神经活动的记录、解码、控制与刺激功能,实现“人脑与机器交互”。

曾几何时,《黑客帝国》里插着线缆进入虚拟世界的尼奥,《阿凡达》中用意识操控外星躯体的杰克,这些科幻场景点燃了无数人对“意念交流”的遐想。殊不知,科学家们早已循着想象的星火,踏上了探索“人机共生”的

征途。从1960年“人机共生”构想的提出,到1973年“脑机接口”术语的诞生,再到如今人工智能、柔性材料、生物传感器的飞速发展,脑机接口技术终于褪去神秘面纱,从实验室走进了公众视野,目前处于大规模应用前的技术

“三驾马车”覆盖不同场景

■ “深潜者”:侵入式 高精度的挑战者

将比头发丝还细的电极直接植入大脑皮层,犹如在大脑深处架设“信息高速路”,能捕获最清晰的神经信号,实现精准的“脑控”。然而,“开颅手术”“排异反应”“高昂成本”以及伦理考量,是其必须翻越的高山。沪上科研力量正全力攻坚:中国科学院脑智卓越创新中心技术孵化的阶梯医疗,携手华山医院,今年3月为一位截肢患者植入了全球最小尺寸的脑控植入体,术后3周,患者已能用“意念”流畅操控电脑光标玩游戏。复旦大学团队联合中山医院、华山医院、上海美生医疗,完成4例微创脑脊接口技术临床概念验证手术,在大脑和脊髓间搭建一条“神经桥”,采集、解码脑电信号,给特定神经根进行时空电刺激,让脊髓损伤患者恢复行走功能。上海伏思科技的“天枢1.0”(256通道,国内首款无线全植入系统获得医疗器械型式检报告)预计年内开展首例临床;“天枢2.0”(1024通道,

通道数对标马斯克 Neuralink 系统)已整装待发,技术迭代令人振奋。

■ “平衡者”:半侵入式 微创的探路者

将电极置于颅骨之下,不直接接触神经元,信号强度虽稍逊于“深潜者”,但免疫反应和感染风险大大降低,是微创与效果间的“黄金平衡点”。上海博睿康联合清华大学、宣武、天坛、华山等医院的无线微创脑机接口临床试验,四肢瘫痪的患者,在术后能“想”着自主喝水,抓握准确率超90%。中国科学院上海微系统所技术孵化的上海脑虎科技,其256通道柔性电极也成功植入一位癫痫患者脑中,实现了对《王者荣耀》《黑神话:悟空》等复杂游戏的精准意念操控,让人惊叹不已。

■ “轻骑兵”:非侵入式 安全的普及者

只需在头皮上佩戴电极帽,无创、安全、便捷是其最大优势,适合长期监测和大众化应

擘画蓝图 打造“脑机”明珠

2025年1月10日,经市政府同意,上海市科学技术委员会向全社会发布了《上海市脑机接口未来产业培育行动方案(2025—2030年)》,从而吹响了脑机接口全领域的冲锋号角。上海脑机接口,正锚定“医疗刚需”,以战略产品为桨,重燃生命之火;帮助瘫痪患者用意念操控外骨骼或机械臂“站”起来;探索通过电刺激视觉皮层,让盲人感知光影轮廓,重获部分视觉信息。在医疗领域之外,用意念开关灯、调空调或将成为现实,工业生产中可能实现更高效的“脑控”操作,而娱乐领域VR/AR与脑机接口的结合,或带来“心想事成”的沉浸式游戏新体验。为了实现这些目标,上海已擘画清晰路线图,构建“产学研医管”深度融合的创新生态。

■ 医疗验证加速跑

以顶尖医疗机构为临床研究与应用枢纽,深度参与从患者需求挖掘、临床试验方案设计、手术植入、术后康复训练到长期效果评估的全链条。2027年前,力推5款以上侵入式、半侵入式产品,在严格的多中心临床试验中进行安全性与有效性验证,并通过医院伦理委员会与监管部门(如药监局)的联合审查,加速获批上市,

惠及失语、瘫痪等亟需帮助的患者群体。

■ 消费应用拓新局

发挥非侵入式设备安全便捷优势,结合医疗机构的康复经验与科研机构的算法能力,打造医疗康复与消费娱乐融合的新业态、新模式。例如,脑机接口用于健康人群的认知训练或专注力提升,将意念控制的交互体验应用于更广泛的VR/AR场景。

■ 构建规则树标杆

依托上海市医疗器械检验研究院作为“质量守门人”与“标准助推器”的关键力量,基于其对创新医疗器械检测的深厚积累,积极构建适配脑机接口特性的专业检测能力,为产品提供权威认证;同时,卫健委和各大医院伦理委员会在临床实践中形成的伦理审查经验,将为制定全国性的BCI伦理指南提供重要支撑。这套上海“产学研医管”共同参与构建的规则体系,将为全国脑机接口产业安全、规范、可持续发展“立规矩”“树标杆”。

脑机接口,这场关乎人类自身潜能的伟大探索,尚需充分技术验证。我们怀抱热望,亦需

验证期。

在上海,脑机接口的研发呈现出“多路并行、各显神通”的蓬勃景象。申城的三驾“脑控马车”——侵入式、半侵入式、非侵入式技术路线齐头并进,覆盖不同场景,成果斐然。

难点在于信号穿过颅骨后变得微弱,“信噪比”低,需依赖强大的“算法解码官”来解读模糊的脑电波。

上海交通大学联合上海零唯一思科技有限公司共同完成全球首个脑电大模型LaBraM,其性能全面超越现有最优的深度学习的模型,其研发的多模态情感脑机接口技术已成功应用于抑郁症客观评估与数字疗法。华东理工大学团队成功研发出“面向四足控制的混合现实增强脑-机接口系统”,测试者佩戴智能头环,可通过意念指挥机器狗完成复杂动作,在工业等领域有着巨大的应用潜力。上海大学技术孵化到韶脑科技的“脑电采集康复训练设备”,已斩获上海市首张非侵入式脑机接口医疗注册证,临床验证中让脑卒中患者上肢功能恢复率提升30%,生活自理能力改善25%,最快6周就能实现从瘫痪到自主抓握的飞跃。上海全澜科技针对慢性失眠治疗难题,研发了个性化神经调控解决方案,包括靶点定位和精准治疗的硬件、软件及算法系统,经过临床试验和真实世界测试,该系统对入睡困难等症状有较好的改善效果。

审慎前行。以上展现的仅是上海脑机接口澎湃创新图景中的代表性案例,尚有众多优秀团队在基础研究、技术攻关、临床转化、产业应用和政策支撑等环节的突破性成果未能一一呈现。背靠丰厚的科研沃土,依托高校院所、企业、医院和监管单位的“产学研医管”协同创新,上海有底气、有能力构建完整的脑机接口产业生态。让我们拭目以待,见证这颗“脑机”明珠,照亮更多生命的希望之路。

机遇与挑战并存

尽管捷报频传,脑机接口要真正“飞入寻常百姓家”,仍有几座“大山”待攀:技术要可靠、可用、好用,要经过充分的临床前与临床验证的技术,才能真正推动脑机接口帮助患者;大脑信号如“指纹”般独特且瞬息万变,如何更稳定、精准地“读心”?设备如何做得更小巧、更耐用、更“友好”(生物相容性)?尤其是侵入式设备,如何让植入的“小精灵”与大脑长期和平共处?此外,伦理与隐私的“达摩克利斯之剑”也高悬头顶——当“思想”可能被读取,个人隐私、自主性如何保障?这需要产业界、科技界、伦理学界、法律界乃至全社会的深度对话与规则共建。

脑机技术,如何比马斯克更“高明”

复旦大学神经调控与脑机接口研究中心主任 王守岩

试验阶段,使得“大脑编程”成为可能。通过将脑信号解码技术与神经调控技术“合二为一”,脑机接口可以实现高精度的外部设备控制或脑功能精准调控,不仅使瘫痪患者恢复运动功能成为可能,更为抑郁症等精神疾病治疗提供了全新路径,实现了瘫痪患者重新行走、抑郁症治疗突破,脑疾病治疗正在开启“精准干预”的新纪元。

脑机技术不仅仅依赖芯片,也需要学习我们自己的大脑。当前,“生物脑—智能体双向交互”已成为突破性方向。科学家融合脑机接口技术成功构建出具备自适应学习能力的虚拟大鼠智能体,可以准确预测真实老鼠大脑中的脑活动,虚拟大鼠智能体能够模仿完成真实大鼠的所有复杂任务,甚至可以完成新的任务。这项突破不仅为解析运动控制的神经机制提供了全新研究范式,更预示着“脑智融合”这一“脑+人工智能”交叉研究方向的诞生,其在智能机器人、自学习神经调控系统、具身智能系统构建等方面具有重要应用前景。

中国是脑机接口领域发展最快的地区,在脑机接口领域自2022年起论文发表就已经超过了美国,建立丰富的原创思想与理论是我们国家脑机接口未来产业发展的关键,也是实现技术弯道超车的核爆点。

2016年,位于美国加利福尼亚州旧金山郊区,一家名为Neuralink公司由埃隆·马斯克创立,研究对象为脑机接口技术。没过几年,神奇一幕出现了:猴子玩起了电子游戏,猩猩竟然“说话”,瘫痪多年的病人站立起来……

当下,我们中国科学家的脑机技术,该如何比马斯克更“高明”?

如今,脑机接口正深度整合神经科学与人工智能技术,其发展轨迹已从单向的神经信息解析、神经调控信息写入,加速向脑机双向交互及脑智融合方向演进。

脑信号的运动解码研究已取得显著进展,应用脑信号来打字、发邮件、打游戏、控制轮椅等已经逐渐成熟,科学家们正在探索基于脑信号的语言、情感及意识解码,读懂心中“所思所想、喜怒哀乐”。神经调控

技术反过来通过光、声、电、磁等物理手段来调节大脑的活动,抑郁症治疗有了“五天加速”的经颅磁刺激创新性解决方案,超声神经调控在阿尔茨海默病等疾病治疗领域展现出广阔应用前景,光遗传学技术已开始进入人体临床