

脑机接口,意念无形亦有形

科学研究、科技发明,要追求知识和真理。但只有当科学技术发展真正服务于人、造福于人,才能真正推动社会进步和发展。我们对脑机接口科学的研究的投入和期盼,源于从“科幻”到“现实”的惊喜,也源于人们对美好生活的向往和需要。

■ 本报记者 陈宁

时间来到2025年,曾经只在科幻电影里出现的“脑机交互”场景,正以人们从未想过速度走进现实:

就在6月,马斯克创立的美国神经连接公司Neuralink再度宣布重大进展:成功帮助渐冻症患者开口说话;中国科学院脑科学与智能技术卓越创新中心等,成功开展了中国首例侵入式脑机接口的前瞻性临床试验,这标志着我国在侵入式脑机接口技术上成为全球第二个进入临床试验阶段的国家;第十届中国(上海)国际技术进出口交易会上,多项脑机接口首发成果向人们直观展示这项前沿技术……

一时之间,“脑机接口”成为热词。这项颠覆性技术,就像科学汪洋中的阵阵海浪,不断拍打着人们的好奇心——脑机接口究竟是什么?它距离应用还有多远?

令人兴奋的是,在脑机接口领域半个多世纪的研究历程中,不乏中国科学家的身影。日前,记者走访多地学者,在一次次的脑力激荡之中,我们近距离解读脑机接口。

读懂大脑

“我们能读懂自己的大脑吗?”复旦大学神经调控与脑机接口研究中心主任王守岩,习惯用这样的开场白介绍脑机接口。因为半个多世纪前,正是这个疑问,促使人们踏足脑机接口领域。

人类的大脑,就像是一台精密的仪器,有着860多亿个神经元。它日夜不休地运转,掌管行为、认知、感知、情绪和生理功能。一旦这台仪器“失控”,人们将面临着行动、意识、精神等方面种种危机。“如果能够建立一条大脑与外界的通路,那么,我们就能读懂大脑,进而调控大脑。”王守岩说。

出于“读懂大脑”的迫切需求,上世纪50年代,人们开始尝试用各种方式“走进”自己的大脑,脑控技术应运而生。“通俗地说,脑控就是用机器连接大脑,把神秘的大脑信号,翻译成人们能够看得懂的命令,来控制计算机等外部设备。”王守岩说,无独有偶,几乎同一时间,控脑技术也同步出现了。“如果说前者是从大脑到机器的信号传输,那么后者就是将外部信号传向大脑,比如用声、光、电等手段刺激大脑,调控神经功能。”他说。

脑控与控脑,打开了大脑信号向外界输出和外界刺激向大脑输入的两条通道。在脑机接口理念出现的半个多世纪里,全球的科学家们都在这两条通道上竞相奔走。他们比拼的,是“读脑”与“写脑”的速度和精度。今天,“读脑”与“写脑”的融合——脑机交互技术正在成为探究大脑秘密、精准调控大脑功能的“新武器”。

作为国内最早开展侵入式脑机接口临床转化研究的神经外科专家,浙江大学脑医学研究所所长张建民认为,作为一个尚属年轻的领域,脑机接口的发展历程可以简单概括为:1950年至1998年的早期阶段和1999年至今的兴起阶段。“分界点,就是获取大脑神经细胞信息的技术手段的革新。”他解释,在早期阶段,科学家们只能用单一的电极获取单点或少数几个点的脑电信号;到了上世纪90年代中期,多通道电极设计的出现,“读脑”有了质的飞跃,实现了同时记录大脑多个神经元信号。

在张建民的电脑上,有一条螺旋上升的曲线图,形象地展示了脑机接口技术兴起阶段的快速发展。“因为获取脑电信号技术的不断迭代,以及对脑网络认识的深入,脑机接口从动物实验,再到临床试验阶段,是以‘加速度’的形式递进。可以说,我们正越来越懂自己的大脑。”

意念近在眼前

意念一词的具象化,出现在2014年的巴西世界杯。开幕仪式上,一位截瘫的巴西青年身披“机械战甲”,用意念开出了世界杯的第一球。那一刻,全球观



全国首例“侵入式脑机接口临床转化应用研究”中,志愿者张大伯用意念操控机械手,写下“浙江大学”“脑机接口”八个汉字。
浙大二院供图

众感受到了脑机接口的魅力。

“用意念操控假肢,不是天方夜谭。”张建民笃定地说,近十多年来,从浙江大学团队在脑机接口领域的两场临床研究,可以窥见中国科学家“捕捉”意念的历程。

2012年,浙大二院“癫痫中心”与浙江大学求是高等研究院一起成功申报国家863课题,正式开启了浙江大学脑机接口团队的临床转化应用研究。2014年,团队给一位难治性癫痫患者的大脑皮层植入电极,以明确癫痫病灶部位。经医院伦理委员会批准,并经患者及家属知情同意,在不影响病人监测的情况下,团队用分线器将监测的脑电分出一路,连接到脑电信号分析仪。

“捕捉”意念的过程,就是这样开始的——当患者做出“石头”的手势,很快,机械手也跟着模仿相同手势;患者接着做出“剪刀”和“布”的手势,机械手一一对应……

这三个分别不到一秒的过程,其实暗藏乾坤。患者颅内植入电极后,计算机也连上了一只机械手。团队成员让患者重复三个简单的手势,电极开始采集三个手势对应的神经元活动信息。神经外科专家通过解析这些脑电波信号,再与工程学专家合作,将解码后三个手势的脑电信号转译成计算机能够读懂的“语言”,用以控制机械手。

医生与工程学专家反复调试训练、捕捉信号、解析信号、转译信号,控制机械手的程序不断得到优化。机械手的模仿,便是电极捕捉人类活动信号后,

传输到电脑,再由电脑转译并命令机械手的过程。三个手势中,人类手势与机械手手势的吻合度高达80%。

2014年8月,这项名为“半侵入式脑机接口临床转化应用研究”的成果,在国内首次实现了“用意念操控”假肢。

当然,机械手光能模仿还不够。“人们孜孜不倦‘捕捉’意念的目的,是为了让意念控制下的假肢造福运动功能受损的人群。”浙大二院神经外科副主任医师蒋鸿杰告诉记者。

如何以意念操控,弥补肢体残障人士的运动功能?团队被外界熟知的成果,便是于2019年完成的全国首例“侵入式脑机接口临床转化应用研究”。

“‘侵入式’,意味着比2014年的‘半侵入式’更进一步,电极真正植入了大脑

的功能区,信号捕捉更精准。”浙大二院神经外科副主任、功能神经外科带头人朱君明主任医师解释,一字之差,对外科手术和脑电波读取都提出了更高要求。

这例“侵入式脑机接口临床转化应用研究”的志愿者张大伯,是一名高位截瘫患者。让机器臂与他的意念吻合,凝聚着团队的心血。2019年,两片仅为 4×4 毫米的Utah阵列电极,被植入张大伯左侧大脑的运动功能区,这里控制着他右侧肢体的运动。每片电极上,密布着近100个电极点。“这些密密麻麻的小黑点,足以监测到超过100万个神经元的放电状况,堪称临床研究成功的‘无名功臣’。”蒋鸿杰说。

当硬件架设完成后,团队成员请张大伯高度集中注意力,只想一件非常简单的事:移动我的右手。虽然,高位截瘫的他并没能真正移动他的右手,可是他左侧大脑运动功能区的神经元细胞却开始“忙碌”起来。

这个训练的过程,持续了三四个月,神经外科医生从电极捕捉到的百万个神经元中层层筛选,锁定最为活跃的神经元群体——它们“掌管”张大伯移动右手的动作。这些神经元释放的脑电波被提取后,进而经工程学专家解码、并翻译成电脑语言,再反馈到机械臂上,设置成专门“移动右手”的程序。与2014年的“半侵入式脑机接口临床转化应用研究”不同,这一次,机械臂要牢牢“记住”这些固定的程序。

于是,充满科幻色彩的一幕发生了。病床上的张大伯,依然无法移动他的双手。但他只是想象着移动自己的右手,一旁的机械臂便取代了他无法动弹的右手,完成了他的想法。

在这样的设想下,这支机械臂越来越聪明,能够完成多维度的右手运动。从2019年开始,张大伯的意念不仅能够驱动机械臂移动,还能“命令”它拿起可乐送到嘴边,并让自己喝下。2024年,张大伯还用机械臂写下了“浙江大学”“脑机接口”八个汉字。

两个“从零起步”的临床研究,将“意念”呈现在了人们的眼前。今天,全国多地的脑机接口团队已经频繁展现意念操控的临床研究。这些充满奇幻色彩的画面,令人们愈发期待这项前沿技术的落地。

采访中,多位专家向记者表达:脑

机接口值得期待。虽然尚有很长的路要走,但毋庸置疑,我们正在一步一步接近这个目标。

链接未来

当人们仍在感叹“意念操控”的奇妙时,科学家们早已不满足于此。

“脑机接口终归要从尖端的科学理论,走向实际应用。”北京天坛医院神经外科学中心常务副主任曹勇告诉记者,在脑机接口理论研究、动物实验、临床研究不断成熟的基础上,我国的脑机接口领域已经“水到渠成”地开始思考如何转化的问题。

5月,首都医科大学附属北京天坛医院脑机接口临床与转化病房揭牌。曹勇介绍,这个病房由研究型与临床型两个部分组成,近期将开始同时接收参与脑机接口临床研究的患者和神经外科患者。“柔性管理,是为了获得更多的临床数据和样本,帮助临床医生更多地理解人类的大脑,进而为治疗脑部疾病打下基础。”他相信,包括抑郁症、帕金森病、渐冻症等在内的神经系统疾病,在未来都能依靠脑机接口技术得到改善。

采访中,曹勇多次向记者表示,脑机接口技术在国内的飞速发展,离不开政府部门的顶层设计。这些年,依托于北京市打造的“北脑一号”智能脑机系统,医院在脑机接口的临床研究、人才培养等方面都做了不少尝试。

张建民也表达了同样的观点。“脑机接口行业既是国家前沿科技的高地,也是临床的现实需求。”他说,目前癫痫、帕金森病等脑部疾病的发病率仍在上升,严重影响人们生活,脑机接口技术一旦走向临床,将改变传统药物、手术等治疗方案,以调控大脑的形式真正提高患者的生活质量。

预计今年之内,浙江大学团队联合公司研发的一款用于治疗难治性癫痫的“闭环神经刺激器”有望完成三期临床试验。这款于2012年开始研发、具有自主知识产权的产品,改变了传统的单向调控大脑神经的模式。“对癫痫患者而言,发病只是偶尔的状态。他们在90%的时间里,都与正常人无异。”张建民说,以往持续、开放式的电刺激,并不能真正改变患者的大脑状态。闭环,意味着大脑与机器之间,一来一回,预警和刺激抑制能够有效帮助“沟通”,进而控制癫痫发作。

当脑机接口成为热词,万众期待之中尚有难点。在王守岩看来,国内脑机接口的技术已经比肩国际,但在“软实力”层面仍有提升空间。“Neuralink让渐冻症患者‘开口说话’,借助了人工智能技术的介入,这又一次提醒我们,脑机接口领域是一个高度交叉学科。”他说,目前,脑机接口已经涉及电子、信息、计算机、神经科学、临床医学、材料学等多个领域。未来,脑机接口的领域还将更广。

基于这个认知,多位专家在接受记者采访时都呼吁,学科之间、机构之间应该打破“壁垒”,通力合作,才能让这项前沿技术为人类带来无限可能。

正如半个多世纪前,脑机接口概念刚被提出时,科学家们畅想着将大脑与计算机相互连接;今天,这项颠覆性的技术,何尝不是搭建了一条通道,让我们与未来相连呢?



近日,浙大二院联合南湖脑机交叉研究院,浙江大学脑机智能全国重点实验室、生仪学院,成功完成全国首例闭环脊髓神经接口植入手术。图为患者术后重新站立行走。
浙大二院供图

记者手记

广阔前景 值得期待

■ 陈宁

13年前,我从浙江大学获得一个重要采访线索:求是高等研究院脑机接口团队发布重要成果,成功破译猴子大脑神经信号。

采访时,一只机械臂神奇地模仿一只猴子的四种手部动作,令人惊叹。当时,脑机接口尚属陌生概念,我用电影《阿凡达》中的科幻场景描述“意念”,编辑给稿件取了一个前卫的标题《用意念操控假肢》。

如今,“用意念操控假肢”已成为一个相对常见的场景,它出现在重大体育赛事的开幕式上,也出现

在各种新闻报道的画面之中。十多年来,从动物实验到步入临床试验阶段,脑机接口的飞速发展,可谓水到渠成。

这不仅因为,它聚焦生命健康领域的重大难题,为攻克癫痫、帕金森病、渐冻症、抑郁症等疾病带来实实在在的成果。这也因为,计算机、神经外科、材料科学、工程学、临床医学等学科快速发展,为脑机接口的基础理论、应用落地都提供了学科交叉的厚实土壤,给了我们面向技术前沿的底气。

可以说,脑机接口的未来,是学科融合、产业融合的未来,它的广阔前景值得我们期待。



中国科学院院士、北京天坛医院神经外科专家赵继宗团队正在进行脑机接口设备植入手术。
通讯员 岳朴 摄

相关报道

医保铺路 临床破局

■ 本报记者 朱平 张苗

要让脑机接口产品真正“接”入生活,不只是技术突破的单一问题。“产品是否能广泛应用”“医院能不能开单”“患者愿不愿意买单”……这些交织在技术、医疗、民生层面的问题,都亟待解决。

有人形容,这是一条从硬件到服务、从信号解码到康复方案的全链条路径。今年3月,国家医保局发布《神经系统医疗服务价格项目立项指南》,首次为脑机接口相关服务的定价提供了政策框架。随后,湖北、浙江等地纷纷公布脑机接口相关医疗服务价格项目。医保专业人士表示,医保定价不仅涉及价格问题,也是一次前瞻性的铺路动作,它将大大缩短脑机接口产品落地的时间。

浙江公布的医疗服务价格项目,包括侵入式脑机接口置入费、取出费,以及非侵入式脑机接口适配费等3个独立收费项目,其中侵入式脑机接口置入费涵盖了开颅手术、电极定位、信号调试全流程;非侵入式脑机接口适配费则主要针对脑电帽校准、参数优化等反复操作。3个收费项目已于今年6月1日起执行。

值得注意的是,当前医保定价仅涉及医疗服务环节,并不包含脑机接口产品本身的费用。

去年底,国家医保局在《康复类医疗服务价格项目立项指南(试行)》中明确提出“加强人工智能技术在康复领域的应用”,并设定2025年短期目标:AI辅助康复收费全国落地。这一导向为聚焦康复场景的脑机接口技术提供了更清晰的落地路径。

记者检索发现,目前全国拥有医疗器械注册证的脑机接口产品一共有三款,分别来自于山东、湖南的两家公司,均以“脑机接口康复训练系统”相关名称注册。

有统计显示,当前我国脑机接口产业大部分企业的研究方向是帮助脑卒中、脊髓损伤等患者恢复运动和感觉功能,提高康复效果,布局的也多为非侵入式技术,因为这类产品的风险等级较低,且与AI辅助诊断产品类似,以“辅助治疗”为核心适应证。

在浙江,相关产品已进入临床阶段,服务对象为脑卒中、偏瘫患者。每一个家庭都可能面临“如何帮助患者康复”的现实难题。传统康复手段中,被动训练效果有限、住院康复成本高昂、居家康复条件不足,是患者和家庭共同

的痛点,而脑机接口技术为这些困境提供了破局之道。

在博灵脑机(杭州)科技有限公司的实验室,相关产品已服务于这样的志愿者群体。这家由创新医疗集团与浙江大学科研团队联合创立的公司,其核心技术理念是“用大脑意图驱动康复”:通过脑机接口设备采集患者的运动神经信号,经算法分析识别大脑对手部、手臂等部位的运动意图,再将这些意图转化为对康复设备的控制指令。这种“主动-反馈”的训练模式,能有效刺激中枢神经系统的重塑,让患者从“被机器带动”转变为“主动控制机器”,康复效率和神经功能恢复效果显著提升。

这种技术逻辑在预临床阶段已展现出显著成效。以上肢康复为例,志愿者穿上“高精度神经信号采集臂环”,系统会基于采集到的肌肉点信号,识别大脑的运动意图,再由机械臂提供辅助力,帮助改善上肢力量、关节活动度、协调性及运动控制能力。数据管理功能还能记录训练数据,为医生调整方案提供依据,让康复更精准。

由此带来的预临床结果很可观:试验组患者的Fugl-Meyer评分(评估运动功能的核心指标)训练后较训练前提升近一倍,显著优于仅使用传统康复手段的对照组。

不过记者也发现,在医保定价与企业探索为产业注入动力的同时,脑机接口真正规模化落地仍面临多重壁垒。

从临床看,不少医院的脑机接口临床实验尚未达到规定病例数,尤其是侵入式技术因涉及开颅手术,需大量数据验证安全性与有效性;非侵入式脑机接口产品则可能存在硬件注册与软件合规脱节的情况。以某款用于孤独症的非侵入式产品为例,其硬件虽持有注册证,但配套软件未获认证,因“软硬件一体化使用”的属性,难以被认定为标准脑机接口产品。

此外,卫健部门的技术规范待完善、技术伦理与患者接受度等问题同样不可忽视。例如脑机接口涉及神经信号采集,需要建立严格的数据隐私与伦理审查机制。

尽管挑战重重,采访中临床医生与研发企业均表示,这些都阻挡不了技术向前的步伐。未来,随着非侵入式与侵入式脑机接口技术的迭代及产品系列化推进,这项“黑科技”终将走进更多家庭,让“用大脑控制设备”从科幻想象变成日常生活。