

重塑生命，脑机接口的未来已来？

脑后接入线缆，就能在虚拟世界“畅游”；把“大脑上传云端”，可以依靠“意念”控制身体……经典科幻片《黑客帝国》中描绘的奇思妙想，随着脑机接口技术的快速腾飞，正在逐步照进现实。

脑机接口技术主要分为非侵入式和侵入式两种。侵入式脑机接口技术已经应用于临床，能显著提升“脑癌”手术的精准度；非侵入式脑机接口技术也已融入部分社区，为阿尔茨海默病和卒中等疾病的早期筛查诊断带来全新方案。当人机共生的“黑客帝国”不再遥不可及，脑机接口技术如何改变生活？未来是否已来？



2025年6月3日，科研人员在中国科学院脑科学与智能技术卓越创新中心微纳电子加工平台实验室内工作。中国科学院脑科学与智能技术卓越创新中心联合复旦大学附属华山医院与相关企业，开展了侵入式脑机接口的前瞻性临床试验。

新华社发

一块由8行8列共64个电极点组成的电极片，紧紧贴着患者脑组织，实时采集脑部信号，手术室里十分安静，只有一旁信号器发出的“滴滴”声。肿瘤的电信号与正常神经元的电信号不同，医生们一边进行手术，一边全神贯注地盯着电信号的异常，一旦找准肿瘤与正常神经元的边界，就眼疾手快地切除……

近期，一场侵入式脑机接口手术在四川大学华西医院顺利实施，手术团队借助侵入式脑机接口技术成功将病人的脑胶质瘤切除。

四川大学华西医院神经外科副教授杨渊说，脑胶质瘤是一种常见的脑肿瘤，俗称“脑癌”，是公认的人体“癌王”，因其像树根一样与大脑神经元盘根错节，传统的手术切除面临最大的难点，就是如何让大脑功能完好无损，又能准确切除肿瘤组织。

四川大学华西医院神经外科学科主任毛庆介绍，在没有应用脑机接口技术之前，想要精确地划分脑部功能区，医生们不得不在手术中途“唤醒”患者，对患者脑部进行电刺激，来帮助医生判断脑功能区。而唤醒手术对麻醉医生以及手术医生的要求极高，一般的基层医院长期无法开展这项手术。

脑机接口技术，则为“脑癌”手术带来新的突破。

杨渊说，利用脑机接口技术，通过肿瘤的电信号与正常神经元电信号之间的区别，医生可以清楚识别脑部组织是肿瘤还是神经元，“通过电极片‘把脑电信号抓取出来’，能有效提高对肿瘤的全切率。”杨渊说。

“中国胶质瘤疾病负担在全球居于首位，脑机接口技术应用后，能让更多的基层医院开展脑胶质瘤切除手术，减少患者的等待时间。”毛庆说。

B

让患者从『被动』到『主动』

一个看起来像“头盔”的医疗器械，上面有针对性地布置了6个脑电极位置，老人佩戴后，通过在手机或平板上进行5至10分钟的认知交互测试，就可以实现认知障碍患者的早期筛查……这是四川大学华西医院研发的老年认知健康脑机接口“天鹅湖”系统，研发团队来自智能可穿戴老年健康管理系统的实验室。

该实验室主任江宁说，他们聚焦老年健康领域，自主研发多项世界上最先进的非侵入式脑电分析的核心技术，形成了“天鹅湖”和“魔笛”技术系统，计划分别用于老年轻度认知障碍（阿尔茨海默病的潜伏期）和卒中后肢体功能障碍的康复。

很多人不知道的是，阿尔茨海默病的潜伏期叫轻度认知障碍，患者的认知功能已经有所下降，但因为症状不明显，不影响正常生活，且这个阶段可长达10年以上，容易让人“麻痹”。

“阿尔茨海默病进展快、无特效药、病程不可逆，44%的轻度认知障碍患者3年后转为阿尔茨海默病，5年转化率约为70%，是普通人的10倍，给患者和照护者造成严重的痛苦和负担。因此，轻度认知障碍的早筛、早诊、早干预对于老年认知健康至关重要。”江宁介绍，尤其是经济欠发达地区老年人对阿尔茨海默病的潜伏期认识不足，知晓率和治疗率还较低。

“天鹅湖”使用门槛低、成本低、效率高，“有望对包括阿尔茨海默病在内的老年慢性病实现‘一头’和‘一尾’管理”。江宁介绍，所谓“一头”“一尾”，就是将筛查和治疗从医院搬到社区和家庭，实现“普筛+早筛+非药物干预”闭环。

与目前临床上的康复方式不同，该项技术能让患者“主动参与”康复。

在“一头”，即面向社区的早筛。传统筛查非常耗时且成本高，往往要专科医生花1小时以上，无法实现大面积的普筛。而江宁团队通过新技术，仅用4个电极、5至10分钟的测试，就可达到超过90%的筛查灵敏度，实现快速大规模早筛。在“一尾”，即面向社区的干预，团队已经对300多个社区的老年人群进行了有效的认知功能干预。

在卒中康复领域，非侵入式脑机接口技术也大有可为。

当前，江宁团队研发的非侵入式脑机接口“魔笛”，能用于脑卒中康复治疗，可以识别超过4类运动意图信号，准确率可达90%以上。

一个长得像智能手环、名为“胡桃夹子”的器械，可用于肌少症的早筛康复；形似八爪鱼的“帽子”，通过对大脑网络信息进行深度分析，对被检测者的认知能力、专注能力、大脑协调能力进行评估，可对孤独症进行辅助诊断，准确率超过90%……不断丰富的应用场景，让患者从“被动”到“主动”，为脑机接口技术“落地”创造了更多可能。

C

产业落地需要更多『想象力』

如今，越来越多脑机接口技术正在走进现实，产业新赛道加速拓展。

在江宁看来，当前，侵入式、非侵入式脑机接口技术都在加速推进。5年至10年后，脑机接口技术相关产品会从医疗向健康管理领域转变。长远来看，脑机接口技术的应用会进入人们的生活，逐渐得到普及，“像手机一样普遍”。

然而，从技术实现突破到产业广泛应用，还有很长的路要走。

毛庆直言“还不能盲目乐观”。“脑机接口技术是当前多个国家正在抢占的技术制高点，而技术突破从0到1的过程非常难，不仅是医学上的突破，更需要人工智能、材料学、医学等多学科的联合攻坚克难。”毛庆坦言，大脑中含有数以亿计的神经元，认识大脑不是一朝一夕的事。

多位业内人士也告诉记者，加速研发突破，还需要更前沿的应用场景布局和产业规划。

“脑机接口是突破性的技术，一项新的成果能应用在哪里，带来什么样的改变，推动成果转化和产业落地，还需要更多想象力。”江宁说。

（据《新华每日电讯》）

A
『把脑电信号抓取出来』