

科普

脑机接口的技术与伦理迷思

李 旭

(中国科学技术大学生命科学学院, 合肥 230026)

前不久, 埃隆·马斯克(Elon Reeve Musk)的脑机接口公司Neuralink完成了全球首例脑机接口人体试验。紧随其后, 清华大学医学院和首都医科大学联合团队也顺利完成了NEO脑机接口的首例临床植入试验。

在Neuralink公司的手术完成后, 埃隆·马斯克在社交媒体上宣布, 这名接受了名为“心灵感应”Telepathy脑机接口植入的患者“恢复良好”。同时, 他还用一则比喻, 为本来就已经红得发烫的脑机接口技术再浇了一瓢热油: “想象一下, 如果有了这项技术的帮助, 斯蒂芬·霍金(Stephen Hawking, 《时间简史》作者)的沟通速度, 就能比快速打字员或拍卖师更快, 而这就是脑机接口的发展目标。”

中国试验的结果同样激动人心。这位已经四肢瘫痪了14年的患者, 在术后经过简单康复训练后, 已经可以借助NEO脑机接口, 用“想”的办法, 自主完成喝水这类阔别已久的动作。

一时之间, 无数的目光和资本再次聚焦“脑机接口”这一前沿领域。但想要真正弄清楚脑机接口的本质和潜力, 我们很有必要对这项技术的来龙去脉做一次完整梳理。

首先, 我们要搞清楚“什么是脑机接口”?

无论是人类还是动物, 把大脑里的想法变成动作, 都离不开同一个类似的过程, 那就是把想法转变成信号, 再由外周神经系统把信号传给肌肉, 最后依靠一系列的肌肉收缩呈现出来。但脑机接口想做的, 是跳过外周神经系统还有肌肉这两个环节, 让外接设备接收大脑“指令”, 把“想法”直接变成一种结果。

这样做一方面是能更快、更准确地捕捉我们大脑中电光石火般的念头, 最大限度释放思维能力的极限, 从而操作各种复杂的精密设备, 甚至是以前只出现在动画片中的武器装备; 另一方面,

让脑机接口天然具备帮助身体功能受损的患者恢复行动的能力。

更进一步, 当脑机接口能够修复替换的身体部件越来越多之后, 机械与生命的结合体改造人“赛博格(Cyborg)”就会成为现实, 而依赖机械实现长生不老或者借助意识转移达成永生不死, 也将不再是纯粹的幻想了。

知道了基本概念之后, 我们还需要了解, 脑机接口技术如何实现?

具体来说, 脑机接口包括了大脑信号检测感知、信号解读、指令执行三个主要环节。仅是第一步如何捕捉大脑信号, 目前就有三条不同的技术路线, 它们分别是侵入式(invasive BCI)、半侵入式(partially invasive BCI)和非侵入式(EEG)三种思路。

所谓侵入式, 说的是脑机接口会放置在颅腔内部, 可以直接接触单个神经元或者某一片神经元集群。侵入式的好处是感应到的信号又快又准, 具有极高的空间和时间分辨率; 其坏处是需要通过开颅手术穿透血脑屏障, 容易导致感染和免疫反应, 还有可能对原本完好无损的大脑回路产生损害。

所谓半侵入式, 需要把脑机接口放在头皮和大脑皮层之间, 这样可以避开皮肤干扰就近感受大脑神经信号。虽然手术危险性有所降低, 但准确性和分辨率比起侵入式会有明显下降。

至于非侵入式脑机接口, 我们可以简单理解为类似做脑电图时候戴的那种帽子, 不过会更小巧、精致一些。但是隔了颅骨再加上头皮的阻隔, 信号的准确性和时效性都会有所降低, 实现精确控制的难度也会变得更大。

像我们一开始提到的埃隆·马斯克的Neuralink公司, 采用的是侵入式技术路线, 而中国团队所使用的则是非侵入式技术。由于这三条技术路线

各有各的难题需要解决,所以从目前看来,并不存在哪种技术更高级的问题,关键得看最终哪一条路能先走得通。

但需要特别注意的一点是,脑机接口技术想要捕捉的虽然是我们的念头或者意识,但在技术层面上,它所能检测到的只能是大脑或者神经元发出的具体信号。所以,真想把大脑信号变成正确的动作,准确及时地解读捕获的信号至关重要。而近年来之所以脑机接口的发展速度得以显著加快,神经网络算法和人工智能的参与功不可没!

其实,脑机接口并不是刚出现的新兴事物,它的研究历史已经超过半个世纪!这一点从它的英文名字变迁就能清楚地表现出来。早期的脑机接口,被称为BMI(brain-machine interface),说的是大脑和机器之间的连接。等到电脑出现后,脑机接口的连接对象从机器变成了电脑,名字也变成了BCI(brain-computer interface)。随着生物学高速发展,科学家们的野心再次膨胀,脑机接口的名字变成了“direct neural interface”,预示着有朝一日外接设备能和我们的神经网络发生直接接触。

关于脑机接口的实验探索,近半个世纪以来从未间断。

早在1969年,德裔美国神经学家埃伯哈德·费兹(Eberhard Fetz)就在华盛顿大学训练猴子利用思考触发神经元活动,进而启动了连接神经元的仪表盘。这是第一个真正意义上的脑机接口实验。1973年,加州大学洛杉矶分校教授雅克·维达尔(Jacques J. Vidal)发表论文正式提出“脑机接口”概念,但是该想法当时并未引发学界关注。1978年,生物学家William Doherty将含有68个电极的阵列植入了一位男性盲人Jerry的视觉皮层。这个试验让患者可以在有限的视野内重新看到灰度调制的点阵图像。1998年,美国Emory大学的科学家Philip Kennedy和Roy Bakay将脑机接口植入患有脑干中风疾病的患者脑中,帮助该病人实现了对电脑光标的成功控制。2004年,美国团队开展了运动皮层脑机接口的临床试验,借助侵入式脑机接口,让一位四肢瘫痪的患者掌握了用意念遥控电视、移动计算机光标、还有用机器臂抓握移动物体的基本技能。2009年,美国南加州大学的Theodore Berger小组研制出能够模拟海马体功能的神经芯

片。该小组将这种神经芯片植入大鼠脑内,使其成为第一种高级脑功能假体。2014年,在法国科学院院士米格尔·尼科莱利斯帮助下,巴西一位下肢瘫痪患者成功用意念控制了机械外骨骼并在世界杯上完成了开球仪式。脑机接口及其配套的仿生外骨骼第一次走进公众的视线。2016年,已经瘫痪卧床十年的患者通过脑机接口技术,实现了触觉功能,该实验实现了大脑与外界环境的双向交互。2018年,美国国防部高级研究计划局披露的数据显示,脑机接口技术已经能够帮助飞行员实现同时操控三种类型的飞机或无人机。2019年,加州大学旧金山分校的神经科学家Edward Chang教授开发出了一种可以将人脑神经信号转化为语音的解码器,为无法说话的患者实现发声交流打下基础。同年7月,埃隆·马斯克宣布旗下公司Neuralink找到了高效实现脑机接口的方法。经过四年时间的临床试验,该技术先后在大鼠、猴子和人类患者身上验证了可行性。

在脑机接口技术这项对未来社会发展有着重要战略意义的科技竞争领域,我国科学家也在按照自己的步调取得一个又一个突破。2012年,浙江大学团队使用半侵入式技术,在猴子脑中植入微电极阵列,成功破译了猴子大脑中关于抓、勾、握、捏四种手势的神经信号。2019年,上海交通大学的念通智能研发的eCon-Hand脑控外骨骼康复系统进入临床测试阶段。2020年,浙江大学团队帮助一名四肢瘫痪患者通过外部机械臂精准完成进食和握手等基本动作。2023年,复旦大学附属华山医院发布了一个适用于汉语的神经网络模型,实现了颅内信号的汉语解码及语音合成,通过脑机接口技术帮助音调语言发音障碍或失语症患者把“心声”直接表达出来。

截至目前为止,国内脑机接口领域研究及应用水平发展迅速,清华大学、复旦大学、浙江大学、天津大学、南方科技大学、上海交通大学、西安交通大学等高校皆各有建树。科学技术部也于今年2月编制了《脑机接口研究伦理指引》,力求规范引导我国脑机接口技术快速健康发展。

但是,脑机接口技术在为我们展现出无比壮阔的未来画卷的同时,其潜藏的伦理及技术风险同样不容忽视!

有了脑机接口，瘫痪、渐冻症等患者的生活从此便有了新的希望；肢体残缺的朋友，也能借助脑机接口和外接设备找回完整的人生；笨嘴拙舌的小伙伴从此有了滔滔不绝展现所思所想的机会；学习知识也不用旷日持久，直接像电影《骇客帝国》里那样往大脑里拷贝复制就能完成；而人类依靠意志操作巨型装甲巨兽，便有了完成更多移山填海伟业的可能；哪怕肉体衰亡，我们也有望将记忆转存甚至意识转移到新的载体，实现数字意义上的永生。

这所有的一切，不由得我们不为之欢呼、雀跃！

但是，脑机接口应用于武器操作，杀伤力和毁

灭能力会不会超出限制？连接在我们头上的脑机接口，会不会偷偷往我们记忆中输入我们从来没有经历过的画面？我们心底不愿为人所知的画面会不会随着脑机接口悄悄流出我们的脑海？当我们按照自由意志做出判断的时候，那个决定的背后会不会在不知不觉间已经受到影响？

大家永远不要忘记，信息传输是双向的。脑机接口既为我们开了一扇通往外部世界的窗，也让外部世界多了一道能步入我们心灵世界的大门！如何平衡好脑机接口的应用范围，最大限度地有利于人类发展，是摆在我们面前的一道真正的难题！（配套科普视频请搜索“李旭的散装生物学”科普账号）