

脑机接口的中国方案

当前,脑机接口技术正以其创新性、交叉性和前沿性成为未来产业发展的关键力量。

那么,我国脑机接口技术取得了哪些突破性进展?脑机接口产业呈现出怎样的竞争格局?未来的发展趋势如何?

请听中国科学院院士、国家神经系统疾病临床医疗研究中心主任赵继宗在央视财经频道《中国经济大讲堂》节目中的深度解读。

■赵继宗

什么是脑机接口

我国脑机接口发展的历程并不长。1999年,清华大学的神经工程实验室首先开展了非侵入式脑机接口的临床研究。2013年,又启动了渐冻症患者的非侵入式脑机接口的临床试验。

王甲是一位渐冻症重症病人,2019年,他戴着非侵入式脑机接口的装置,在电视节目中“朗诵”了一首诗。实际上他已经无法动弹,也无法说话,当时他面对着屏幕,用意念把屏幕上的拼音组合起来,再通过机器发出了语音。

什么是脑机接口呢?就是人或动物的大脑与外部设备之间创建一个直接连接的通路,以实现脑与设备之间的信息交换。

人或动物在做动作时,大脑会有一个信息交换的环路。比如,我的手碰到了尖锐的或烫的东西,我马上把手缩回来。为什么呢?首先我感觉手受到了刺激,这个信息传到了大脑,大脑立即反应,发出指令,让手缩回来。这样就形成了一个环路。如果我们不通过这个环路,直接把脑子里的信号传输给外界的设备比如计算机,这就是脑机接口。

脑机接口不是一个学科,而是多学科创新的结果,是跨界创新。为什么这么说?让我们从脑机接口这个新事物的出现说起。

脑机接口引出脑活动的主要形式是脑电图。脑电图是1924年德国医生汉斯·贝格尔发现的,他通过置于头皮的电极系统首次记录到人类脑部电信号的活动,并于1929年发表了具有里程碑意义的专著《人类脑电图的使用》,为现代脑机接口技术奠定了理论基础。

1973年,美国的计算机专家维克·维达尔率先提出了脑机接口这个概念。作为计算机专家,他试图把人脑的想法与计算机联系起来。于是,他搭建了世界上第一个非植入式的脑机接口系统来采集脑电图,再把这些脑电图输入计算机。他做了一个试验,让一位受试者戴着电极帽,电脑屏幕上有一个迷宫,受试者一边想一边靠意念走这个迷宫,结果成功了。维克·维达尔也利用这个方法,成功地用意念移动了电脑的光标。

正是由于人类对脑科学的不断认识和发展,推动了脑机接口技术的不断前进。

脑机接口的四种类型

目前,脑机接口的技术路线大致有以下四种,应该说它们各有优势和劣势。

第一种是非侵入式的无创的脑机接口技术,就是在病人的头皮表面戴一个电极帽,把脑电信号通过电极帽引出来,输入计算机。它的优点是直接戴一个帽子就行了,但缺点是,由于电极帽的很多电极信号不是专一的,所以信号的空间分辨率不高。就像我们在一个球场上看球赛,在欢呼的过程中你很难清晰地听到某个人声音。

第二种是侵入式的脑机接口技术。它通过手术将电极植入人的大脑,以获得高质量的脑电信号。由马斯克创立的“神经连接”公司采用的就是侵入式脑机接口技术。

侵入式脑机接口技术需要进行开颅手术。大脑的外部被四层构造包裹:最外层是头皮,第二层是颅骨,第三层是硬脑膜,第四层是包在大脑表面的软脑膜。侵入式脑机接口技术是直接在大脑表面钻一个孔,把电极插在大脑皮层上。它的优点是能把每个神经细胞的信号都准确地引出来,但缺点是,开颅手术不可避免会出现伤口感染、出血。此外,由于把电极插在大脑的皮层里,时间长了以后会出现免疫反应,把电极包裹了,造成信号传递受损。

第三种是介入式脑机接口技术。

2025年6月,全球首例介入式脑机接口人体试验成功。该试验由南开大学人工智能学院段峰教授团队牵头,采用微创介入方式,通过血管穿刺将支架电极导入颅内血管壁,实现脑电信号的采集与无线传输。试验结果显示,受试的脑梗死致瘫患者已经恢复了上肢抓握、行走等功能。

第四种是微侵入式或半侵入式的脑机接口技术。就是电极不直接插在大脑皮层,而是插在颅骨和硬脑膜之间。它的优点和缺点介于侵入式和非侵入式脑机接口技术之间。

神经性疾病的治疗突破

脑机接口技术在健康医疗领域的应用非常广泛,它为神经性疾病的治疗和康复带来了巨大的变革。

在全球人口中,有约34亿人正遭受各种神经系统疾病的困扰,比如卒中、婴儿的脑损伤、阿尔茨海默病、癫痫、孤独症等。这些疾病造成了社会和医疗系统的重大负担,而更关键的是,这些疾病会造成病人残疾,并导致死亡。比如,阿尔茨海默病会导致病人记忆力明显减退,性格改变,和家人无法交流。帕金森病患者的主要症状是手抖、运动迟缓、肌肉僵硬、嗅觉减退等。据2024年的统计,全球有超过1000万人患有帕金森病,而中国是帕金森病高发的国家。还比如渐冻症,其症状是全身骨骼肌萎缩。脊髓肌包括我们平时肢体运动、面部表情运动甚至呼吸所依赖



2025年3月25日,在复旦大学附属华山医院手术室,路俊峰教授(左)和吴劲松教授在进行我国第一例侵入式脑机接口临床试验手术。 新华社发

的肌肉,所以,严重的渐冻症会造成病人呼吸困难。

诸如这些神经性疾病,到目前为止都没有好的治疗手段,其后遗症靠传统的康复治疗也很难奏效。所以,脑机接口技术为这些神经性疾病的治疗提供了另辟蹊径的可能。

脑机接口进入临床治疗阶段

2025年上半年,北京、四川、上海、山东等省市相继出台了脑机接口产业行动计划,各地医院也先后宣布进入脑机接口临床治疗阶段。

我重点介绍一下北京天坛医院的脑机接口临床治疗情况。我国的脑机接口即“脑科学与类脑研究”国家重大科技项目,其实施布局包括在北京和上海分别建设的脑科学研究与类脑研究中心,通常被简称为“北脑”和“南脑”。“北脑”主要负责脑机接口器械的开发,包括电极、芯片、解码算法和系统软件等,实现脑机接口的落地。北京天坛医院作为“北脑”的共建单位之一,和北京脑科学与类脑研究中心等国内多家顶尖科研单位联合成立了国内首个脑机接口临床与转化病房。

2025年3月20日,北京天坛医院完成了第一例“北脑一号”的安装手术。该病人左侧大脑半球出血严重,脑出血一年后,病人一直右侧肢体偏瘫,持续进行5个月康复训练后,没有丝毫进展。在听到“北脑一号”项目的招募信息后,病人来到北京做了植入手术。

“北脑一号”是半侵入式的脑机接口智能系统,被植入病人大脑皮层的硬脑膜外。大脑皮层发射的脑电信号通过无线的方式传给电脑系统,电脑对脑电信号进行快速运算、解码,解码分类之后,再实时传递到屏幕上。患者用脑机运动想象的方式来控制电脑的光标,完成各种指令。我们可以看到,患者在进行操作时,反应速度很快,准确率也非常高。该病人训练了近6个月后,右侧肌肉运动能力显著增强。根据病人的自述,他之前走路一瘸一拐的,去附近的超市需要两个半小时,现在只用一个多小时就能走到超市。

第二例病人是一位50岁的男性病人,右侧脑梗死,造成身体左侧偏瘫、麻木,已经有两年了。2025年5月20日,他也植入了“北脑一号”。通过医生量身定制的训练方式,如今,他的身体灵活度提高了,走路比以前顺畅了,可以自己拿着馒头吃饭,进步非常大。病人从身体和心理上的改变都很大,对未来的生活充满了希望。

“北脑一号”有以下几个优点:第一,通道数高,达到128通道。第二,“北脑一号”采用自主研发的柔性高密度电极,与大脑皮层贴合,就能够采集到大脑皮层的信号变化。对脑电信号的解码质量也较高,基本实现实时传输,在十几毫秒以内就会作出反应。第三,采用硬脑膜外半侵入式设计,手术感染风

险明显降低。“北脑一号”的电极放在硬脑膜外,因此与神经组织没有直接接触,安全性和稳定性都很高。“北脑一号”无论是电极的设计、生产以及主机系统的集成,还是线圈和天线的设计以及体外机、信号解码的软件和算法,都是我国自主研发的。

2025年,北京一共完成了5例“北脑一号”的植入,临床试验效果都不错。到2026年底,由“北脑”孵化的科技公司将能够支持每年几百套半侵入式脑机接口智能系统的生产。预计在2030年之前,“北脑一号”将能获得三类医疗器械的注册证。获得这个注册证以后,就可以进行批量生产,并在国内的三级甲等医院全面推广。

全球脑机接口赛道竞争激烈

进入21世纪以后,脑机接口技术飞速发展。当前,全球脑机接口市场已达数十亿美元规模,预计到2030年将突破百亿美元大关。

各国对脑机接口领域的研究经费都在不断增加。比如,美国提出,到2026年对脑机接口的总投资将达到50亿美元;中国首批投入资金为30亿元人民币;韩国计划投入4000亿韩元(约合21亿元人民币)的研发经费;日本每年计划投入3600万美元,实施周期为10年。美国、英国、澳大利亚、加拿大、日本等国都有很多有关脑机接口技术的科研单位。

2025年3月,复旦大学附属华山医院完成了国内首例侵入式脑机接口的前瞻性临床试验手术。一名四肢截肢患者通过植入全球最小尺寸、仅为头发丝百分之一的柔性神经电极,术后两到三周即实现意念操控电脑光标下象棋、玩赛车游戏。这标志着我国在侵入式脑机接口领域成为继美国之后全球第二个进入临床试验阶段的国家。2025年12月17日,侵入式脑机接口临床试验取得新进展,一位颈髓损伤四肢瘫痪患者通过意念完成自主控制智能轮椅和机器狗,控制连续、稳定且低延迟。

脑机接口产业主要分为三部分。第一是上游产业,就是脑机接口设备的设计和制造,包括电极、芯片等;第二是中游产业,包括数据和信号的采集、调整、分析、解码;第三是下游产业,也就是应用领域。医疗健康领域是最主要的应用领域,比如对偏瘫、截瘫、渐冻症病人的治疗,以及进一步延伸到戒毒、抑郁症的治疗等。此外,脑机接口技术在教育、智能机器人、工业安全、交通安全、游戏、军事航天等领域也有广泛的应用前景。从上游、中游、下游产业的分布来看,上游产业约占8%,中游产业占37%,下游产业占55%。

在脑机接口领域,全球竞争的格局已经在广泛形成。其中,中美是引领的角色,目前全球脑机接口技术的企

业数量为800多家,美国有300多家,我国有近200家。美国在颠覆性的原始创新方面以及尖端的侵入式脑机接口技术方面占有先发优势,特别是以马斯克创立的“神经连接”公司为代表,在技术探索和资本关注度上占有一定的优势。相比之下,中国的发展体现出更强的战略意图和系统性布局。我国非侵入式脑机接口技术应用迭代的速率非常快,特别是在脑机打字、脑状态分析等细分领域已经形成了较强的优势,但是在产学研转化的效率方面仍有很大的提升空间。总的来说,目前我国在非侵入式脑机接口技术方面在国际上是领先的,在侵入式脑机接口技术方面与国外基本同步。

提供脑机接口的中国方案

虽然我国在脑机接口领域起步较晚,但我们的整体发展势头非常迅猛。2021年,我国启动了“中国脑计划”研究。2023年,在工信部的指导下,我国成立了脑机接口产业联盟。随着政策支持力度的加大,脑机接口产业正迎来加速发展的黄金时期。

我国在脑机接口领域的顶层规划布局也正在不断强化。2025年7月30日,工信部等七部门联合印发了《关于推动脑机接口产业创新发展的实施意见》。2025年9月,国家药品监督管理局发布了首个脑机接口医疗器械术语标准,为产品研发、临床应用提供规范化指引。工信部在2025年工博会上明确将脑机接口列为“十五五”未来产业新赛道。

那么,我国脑机接口领域还存在哪些迫切需要解决的问题?还有哪些工作要做?

第一,需要大样本、多中心的研究。因为几例、几十例手术还不能说明脑机接口系统的作用,需要更多的科研单位、企业以及专业人员参与这项工作。

还有一个很重要的问题,就是关于脑机接口的卫生经济学,即实施脑机接口方案需要多少费用,它与传统的康复方案有什么区别,有什么优势。脑机接口设备的安装手术并不复杂,但是,后期的训练需要专门的人才,我们暂且把他们叫作脑机接口临床工程师。病人在训练的过程中,工程师要一点点地去教他,这不是简单的运动康复,而是需要病人不断地和工程师配合。目前,主要是由计算机工程师来从事这项工作,将来需要建立一支新的队伍,这些脑机接口临床工程师也要学习一些医学知识,成为跨界的复合型康复师。

第二,需要制定短期和长期规划开展临床试验,同时要注重科普宣传。目前北京天坛医院成立了国内首个脑机接口门诊,每天有大量病人前来咨询。我发现,大多数病人都不太了解脑机接口是怎么回事。他们往往认为,脑机接口设备装上了,明天就能动,就能讲话。其实,脑机接口不是一片阿司匹林,烧了吃一片就能退烧,它需要一个康复过程。而且,不是每一位病人都适合做脑机接口手术。所以,我们应该大力宣传脑机接口的科普知识,让更多的病人能够了解脑机接口这个新事物。

第三,建议对于偏瘫、截瘫和渐冻症等病人提供脑机接口的专业治疗方案,因为这些病人目前并没有好的治疗手段,脑机接口可以为他们开辟一条新的治疗途径,解除他们身体和心理上的痛苦。

到目前为止,国际上很多国家都开展了有关脑机接口的研究,特别是美国,他们的病例数和各种类型的脑机接口方案有很多,但是,还没有形成脑机接口的医疗指南或医疗方案。我想,我们在做脑机接口临床研究的过程中,要不断积累中国经验,将来在国际上提供一个中国的脑机接口实施方案。

医疗创新如何平等惠及更多人

听演讲

不久前,在“复旦管院恢复建院40周年·领军者论坛”上,国家传染病医学中心主任、复旦大学附属华山医院感染科主任张文宏教授分享了对医疗技术创新、优化资源配置、医疗模式变革等方面的探索与思考。

■张文宏

过去,我国医疗资源城乡差距明显,农村的卫生院普遍水平有限,因此,国家推动了一系列改革,努力缩小这一差距。

城乡之间的医疗鸿沟主要来自经济壁垒。医疗创新技术在各地的大应用差距也很大。发达国家、大城市、大医院往往先使用,而偏远地区和发展中国家可能要等很多年。这种差距也会加剧全球的医疗不平等。

另外,医疗技术能否普及,医保政策很关键。各国医保覆盖程度不同,直接影响医疗技术的可及性。

用创新缩小医疗差距

要填补医疗鸿沟,还得靠创新。比如结核病,中国患者的数量居全球第三。虽然总体人数在下降,但落后地区的发病率仍是发达地区的10倍。

国际上结核病新药一个疗程的花费超过20万元,而新研发的TB-TRUST全口服短程方案,将疗程缩短到6-9个月,成功率提高到80%以上,全疗程费用降到3万-5万元。如果医保报销80%,患者自付就能降低到1万元以下。这就是通过创新有效缩小了医疗差距。

再看乙肝治疗。国际上出产的新药索磷布韦在2013年底于美国上市时,一个标准疗程(12周)的定价约为84000美元,全球大部分国家的医保难以覆盖如此高昂的药物。但随着专利到期和创新技术的普及,现在治疗费用已大幅下降。埃及曾是乙肝高发国,患病率高达15%。后来他们通过全国筛查、医保支持等,2015年到2022年间,患病率从15%降至0.4%左右。这再次证明技术创新能够填补医疗鸿沟。

新技术可能带来“新不平等”

创新为医疗带来了巨大的改变,但在推动进步的同时,我们必须关注平等与公正。

随着老龄化社会的到来,新的医疗鸿沟可能进一步加深。比如,患者难以理解AI诊断、基因解读等复杂的技术,造成他们可能更依赖医生,自主权反而下降。

信息不对称问题也会加剧。患者如果缺乏相关知识,很难参与医疗决策,从而影响治疗质量和满意度。

随着年龄的增长,免疫细胞的功能逐渐下降,这种现象被称为免疫衰老。免疫衰老会让人更容易感染,患上自身免疫性疾病和癌症,而我们可以通过饮食、运动、睡眠以及某些药物来延缓这一过程。抗衰老研究也在不断推进,但如果技术只服务于少数人,就会产生新的不平等。这要求我们在推动科技的同时,必须思考如何实现社会公平。

提升老年人的数字素养

AI时代,技术发展太快,人的认知可能跟不上。比如脑机接口这类认知增强技术,可能创造出“智力超人”,冲击教育、就业乃至司法体系,导致新的不公平。因此,我们需要明确技术使用中各方的责任,制定相应政策,避免技术加剧社会分裂。

数字医疗时代,数字素养成为获取医疗资源的重要能力。但老年人、教育水平较低的人群可能不会使用远程医疗设备,也看不懂健康数据建议,成为数字医疗的“边缘人”。我们要加强对这些群体的培训,提高他们的数字素养,让他们也能享受数字医疗的便利。

医疗创新的差距,本质上是社会资源、知识和权力分配不均的延伸。技术本身不是问题,但如果缺乏有意识的制度设计、伦理约束和普惠导向,它就可能变成放大不平等的“加速器”。

未来真正的挑战不仅在于“能不能发明技术”,更在于“能不能公平分享”。这需要科学家、政策制定者、伦理学者和公众一起对话、共同协作。

让更多人在家门口看好病

从2015年国家提出分级诊疗,到2025年“医疗卫生强国工程”明确支持1000个紧密型县域医共体的建设,10年间,政策不断推进,县域医共体已成为实现“大病不出县”的关键一环。

通过县域医共体的建设,优质医疗资源得以下沉,基层服务能力得到提升。特别是“巡诊车+移动手术室”等配置,增强了偏远地区的医疗服务能力,让更多人在家门口看好病。真正的创新动力来自社会,只有为人类幸福创造价值的创新,才是可持续的。我们要通过持续创新来弥合差距,努力建设新时代中国特色社会主



2025年4月30日,在位于上海的受试者住所,受试者通过脑机接口玩赛车游戏。 新华社发