

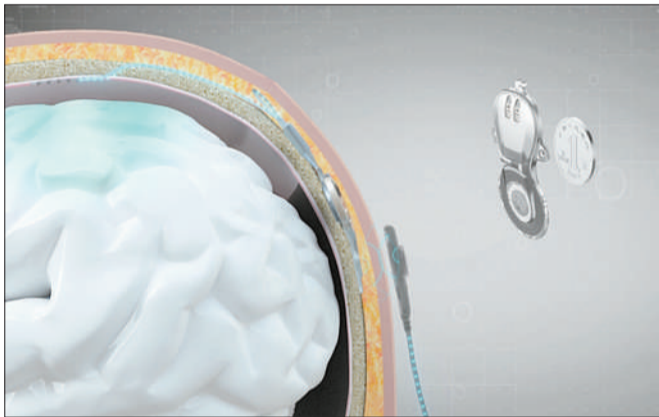
脑机接口时代正在到来

意念握杯成真



宣武医院院长赵国光团队进行首例植入手术。

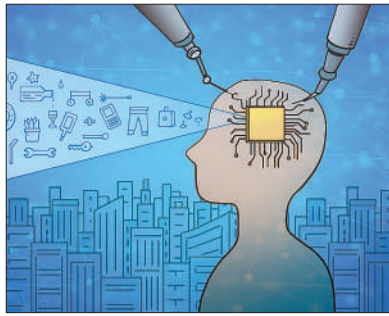
清华大学医学院供图



无线微创植入脑机接口NEO系统及体内机(合成图片)。清华大学医学院供图



首例无线微创脑机接口临床试验成功示意图。视觉中国供图



人类植入脑机接口芯片示意图。视觉中国供图

《脑机接口研究伦理指引》发布

明确“尊重被试、适度应用”等六原则

本报讯(中青报·中青网记者张西)日前,科技部在其官方网站发布《脑机接口研究伦理指引》(以下简称《指引》),明确开展脑机接口研究,应确保研究具有社会价值,应主要致力于修复型脑机接口技术,强调通过技术的发展服务公众的健康需求,非医学目的的注意力调节、睡眠调节、记忆调节、外骨骼等增强型脑机接口技术应在严格规范、明确获益的前提下,一定程度上鼓励探索和发展。

脑机接口是在大脑与外部设备之间创建信息通道,实现两者之间直接信息交互的新型交叉技术。据悉,该技术通过记录装置采集颅内或脑外的大脑神经活动,通过机器学习模型等对神经活动进行解码,解析出神经活动中蕴含的主观意图等信息,基于这些信息输出相应的指令,操控外部装置实现与人类主观意愿一致的行为,并接受来自外部设备的反馈信号,构成一个交互式的闭环系统。应用主要包括医疗健康、交流沟通、生活娱乐等方面,特别是改善神经性瘫痪疾病患者的运动、交流、感知功能。

最新发布《指引》明确了脑机接口研究的六项基本原则,分别是:保障健康、提升福祉;尊重被试、适度应用;坚持公正、保障公平;风险管控、保障安全;信息公开、知情保障;支持创新、严格规范。

《指引》提出脑机接口研究应适度且无伤害,研究的根本目的是辅助、增强、修复人体的感觉-运动功能或提升人机交互能力,提升人类健康和福祉;增强型脑机接口的发展应遵循适度原则,在尚未妥善处理各种风险的情况下,不应贸然开展相关技术应用,最小化对人类造成的负面影响;对严重危及生命且尚无其他有效治疗手段的罕见病,可在严格遵守国家关于医疗器械临床研究等相关规定的条件下,经充分知情同意,开展脑机接口创新产品的临床研究。

同时,《指引》提出开展脑机接口研究的一般要求。要求研究需符合我国相关法律法规规定,遵循国际公认的伦理准则,以及科学共同体达成的专业共识和技术规范。不得通过脑机接口研究进行非法活动、侵害他人合法权益、破坏社会稳定。不得借脑机接口实际效果不稳定的虚假广告信息。

在人体上开展脑机接口研究,应根据《涉及人的生命科学研究伦理审查办法》等相关法规履行申请并通过伦理审查,需根据手术植入、有源植入物指导原则和相关标准,进行安全性和有效性充分验证,包括提供生物相容性检测报告、型式检测报告、大动物安全性有效性报告等。

《指引》还提到,脑机接口研究应建立安全风险防控机制,包括严格的操作规程、常见的误操作纠正机制、紧急情况下的预案、中止程序和补救应急指南等,保证被试人身安全。

在研究资质方面,《指引》要求开展脑机接口研究的人员应具备相应的专业水平和能力,经过专门的技能培训和伦理培训。如果开展以患者为研究对象的临床研究,须有临床医师参与,符合临床研究有关要求。

《指引》由国家科技伦理委员会人工智能伦理分委员会编制。

家里进行康复训练。这位36岁的脊椎损伤患者可以在“脑机对话”中用“意念”驱动电脑光标的移动,实现屏幕中红色球撞击蓝色球的动作,进行人和电脑“心灵感应”。

“要完成这样的技术突破,没有10年是做不成的。”洪波提到,此项技术急不来,也急不得。“因为这不是一个游戏产品,也不是一个信息产品,而是一个植入的医疗器械,患者的安全是第一位的。”他说。

翻开脑机接口的第一页

2005年,雷·库兹韦尔在《奇点临近》一书中预测,“随着纳米技术、生物技术等呈几何级数加速发展,未来20年中人类的智能将会大幅提高,人类的未来也会发生根本性重塑。”这位脑洞大开的天才提出了“奇点”的概念,认为未来技术变革会撕裂人类历史结构,克服生物进化的限制。

让人类走向数字永生是一个大胆而疯狂梦想,技术上的探索也未停下脚步。2020年,浙江大学与浙江大学医学院附属第二医院神经外科合作,完成国内第一例植入式脑机接口临床研究。患者利用大脑运动皮层信号,精准控制外部机械臂与机械手实现三维空间的运动,实现握手、拿饮料、打麻将等动作。

2023年,相对于侵入式和非侵入式的技术方案,南开大学团队牵头在猴脑内实现了介入式脑机接口脑控机械臂,为未来脑卒中、渐冻症和抑郁症等疾病的诊疗提供了新的方向。

2023年8月,工业和信息化部等四部门印发的《新产业标准化领航工程实施方案(2023-2035年)》提到:要开展脑机接口标准化路线图研究。加快研制脑机接口术语、参考架构等基础性标准。开展脑信息读取与写入等输入输出接口标准,数据格式、传输、存储、表示及预处理标准,脑信息编解码算法标准研究。开展制造、医疗健康、教育、娱乐等行业应用以及安全伦理标准研究。

脑机接口的时代正在到来。“不可思议的目标会让科学家产生永不停止的动力。”洪波提到要深入了解人类的大脑工作机制,实现人脑和机器大脑的高带宽对话,要做的工作还有很多。

脑机接口的高通量和发热问题是需要克服的一大技术难关。洪波解释,目前我们的微创脑机接口只能实现简单的手部动作。但未来要获取更多高级认知活动信息,必然要增加通道数,那么攻克发热问题,处理安全性和稳定性之间的平衡,是工程师需要面对的挑战。

“老杨的右手可以握住水瓶”带给赵国光的新思考是,如果用中文“解码”老杨右手的动作,可以解释为“攥”“握”“拿”“捏”“持”等,而用英文解码只能解释为“hold”。他希望,在未来的探索中,新技术能够更精准地适配中文语境,更快地识别并输出患者脑中的指令。

中国信息通信研究院联合脑机接口产业联盟日前发布的《脑机接口技术发展与应用研究报告(2023年)》指出,当前脑机接口技术主要应用方向在医疗领域,该技术能为癫痫、帕金森、抑郁、多动症、截瘫、卒中等相关疾病诊疗带来新的解决方案。

未来,要突破人类诊治部分疾病的极限,脑机接口还面临着大规模临床试验等挑战。

“下一步,我们希望帮助患者用脑信号指挥家里的智能设备,比如手机、轮椅、电动窗帘等设备的开关,为人和物的连接提供更多的可能。”洪波说。

龙年春节前,洪波帮助第二位患者在平板电脑里下载了读书软件。他有一个期待:希望在春节后帮助患者实现翻阅电子书的愿望。

2023年12月19日,第二例脊髓损伤患者已在北京天坛医院贾旺教授团队手术下成功植入,信号接收正常,目前患者在

中青报·中青网记者 杨洁 尹希宁

科幻电影里有关脑机接口的想象正在照进现实。10多年前,《阿凡达》展示这样一幅场景:进入睡眠舱的人类战士,可以通过计算机技术读取意识,并将意识转移到克隆人的身体之中,利用后者进行行动。不少人从不见识到脑机接口的魅力。如今,人脑与机器大脑进行“感应对话”的技术已来到人们身边。

日前,中国科研团队宣布全球首例无线微创脑机接口临床试验成功:清华大学医学院教授洪波团队设计研发了无线微创植入脑机接口NEO技术;首都医科大学宣武医院院长赵国光、主任医师单永治团队,与清华大学在2023年10月24日合作进行了首例临床植入试验。手术后,一位四肢瘫痪14年的患者在接受居家脑机接口康复训练后,实现了自主喝水等脑控动作。

脑机接口是通过记录和解读大脑信号,实现大脑和计算机之间的直接通信。“要实现真正的‘读心术’还有很长的路要走。假设这是一本100页的未知之书,目前我们只是翻开了第一页。”洪波说。

与马斯克不同的脑机接口方案

1月29日,美国特斯拉公司首席执行官、太空探索技术公司首席执行官埃隆·马斯克宣布脑机接口“手术成功”的新闻也引发国内外关注。

马斯克在社交平台写道:“昨天(1月28日),第一位人类患者接受了来自‘神经连接’公司的植入手术,目前恢复良好。初步结果显示,神经尖端峰检测很有前景。”马斯克将第一个产品命名为“心灵感应”,当大脑植入设备后,只需意念就能控制手机、电脑等“几乎所有设备”。“想象一下,斯蒂芬·霍金的沟通速度也许能比打字员或拍卖师更快。这就是我们的目标。”马斯克说。

“马斯克团队是一个非常令人尊敬的团队。(中外)两个团队研发脑机接口的技术路线不一样。”洪波说。

据他介绍,清华团队所采用的无线微创植入脑机接口NEO技术,是将电极放在大脑硬膜外,不会破坏神经组织,通过体内机和体外机耦合完成信号的输入与输出。马斯克团队采用的是全侵入式脑机接口方式。

大脑的信号从内到外可以分为3个层次:神经细胞放电,颅内脑电,借用脑电帽采集到的头皮外脑电波。洪波打了一个比方:假设一个屋子里坐着10个人,每个人代表着一个神经细胞,要接收神经细胞的信息可以通过“麦克风”获取,马斯克团队的产品相当于在每个人的胸前放置了一个“收音”,“收音”效果好但存在“占地面积”大、耗电高等问题;借用脑电帽采集的头皮外脑电波方案,则是将麦克风放置在门外,那么接收到的信号就会很模糊,受到很多噪声干扰。

“我们的方案是把电极放在脑膜外部,介于两种方案之中,相当于把麦克风贴在门里获取信息。”洪波说。

在宣武医院,院长赵国光向中青报·中青网记者展示了目前市面上几种主要的脑机接口产品。其中,“头皮脑电”为非侵入式脑机接口,临床优点是无创,但敏感性和解剖空间定位较弱;“颅内皮层电极”将电极置入颅骨下大脑表面,常用于癫痫患者的大脑皮层;“犹他电极阵列”将电极深入颅内,主要用于治疗语言、运动的损伤,但弊端在于,患者需要长期在医院训练,无法在短时间内回归家庭。

相较于市面上的主要方案,赵国光表示,目前团队所采用的无线微创植入脑机接口NEO在植入上既满足了技术敏感性,又不会对脑组织造成损伤,还可以长期放置,其采集到信号的波幅、带宽、频率等能够满足目前临床的需求。

在手术台上,医生只需进行“在颅骨中装入电极”等微创手术,人脑与电脑“对话”的基础性设备便可完成。洪波打了一个形象的比喻:如果把大脑比作一个熟鸡蛋,剥开鸡蛋壳之后,还有一层白色的保护膜,相当于大脑的硬脑膜,可以保护大脑环境不受外界干扰,细胞不受损伤。把电极放在硬脑膜上,将329个零件放在硬币大小的钛壳之中。两枚硬币大小的脑机接口植入高位截瘫患者颅骨中,采集感觉运动脑区神经信号,实现手部抓握动作的解码。

“半侵入式方案置于脑洞之外,不会对脑细胞产生损伤,也不存在感染、免疫排斥等风险。”洪波介绍,相比较而言,马斯克团队所采用的全侵入式脑机接口,在接入大脑皮层后,每一次使用需要接上数据插头,进行消毒操作。此类临床试验为了避免感染风险,目前需要患者永久在医院进行治疗和观察。

“从技术上来讲,不同的路径均可以实现脑机接口的目标,但应用场景和优劣不同,并没有高低之分。”洪波说。

实现自主喝水的14年瘫痪者

“我们挑战的不是一般疾病,是人类目前没有解决方案的部分疾病。”赵国光说,要在人身上装上脑机接口,难点在于能采集到信号,还要让信号“解码”语言、运动、意识。他说:“这是挑战不可能。”

从某种程度上说,54岁的四肢瘫痪患者老杨是第一个“成功吃螃蟹的人”。

在长达14年的时间里,老杨因为车祸导致四肢瘫痪,运动能力完全缺失,手部完全瘫痪。

专家评估了老杨的病因及诊断情况,在征求家属和老杨的同意后,启动了一项“脑机对话”的新技术。“老杨希望在新科技的支持下,恢复右手的能力,完成喝水、吃饭,甚至写字等动作。”赵国光说,患者对恢复健康的强烈愿望支撑着患者的康复训练,也推动医护团队的临床试验开展。

一只气动手套,套在老杨手上,从大脑右侧感觉运动区的电极获取信号得知,老杨想移动右手。电脑“读懂”老杨的想法后,解码完成,指令传达到气动手套,协助老杨右手手指协同弯曲,抓住了矿泉水瓶。解码算法采用了可解释的机器学习技术,由洪波团队完成。

在这场“无声”的脑机对话里,老杨的颅骨内埋有体内机,电极覆盖在硬膜外。体外机隔着头皮给体内机供电,并接收脑内的神经信号,传送到电脑或者手机上,借助解码算法实现脑机接口通信。

实际操作时,洪波和赵国光团队首先采用功能磁共振成像技术,完成运动感觉脑区定位,精准捕捉右手想要运动时的大脑激活区信号,再根据捕捉的位置精准设计电极植入的接触点。一般情况下,人脑“指挥部”能够直接调集身体各“连队”,但对脊髓损伤患者来说,“中间的道路阻断了”,“指挥部”喊出口号,我们要通过技术打通阻断的部分,接上信号”。

赵国光解释,从动物实验到临床,要保证这套系统能采集到信号,且信号“漂亮、敏感、无干扰”,才能够高效地接收并传达人脑的指令。

洪波介绍,为了保证“脑机对话”的私密性,团队在电源管理中设置了认证芯片,必须体内与体外机完成配对,才能启动人

体内的信号采集系统,保护患者的隐私安全。植入颅骨的体内机无需电池,患者可以终身使用,手术10天后可出院回家。

在这场“脑机对话”中,电脑可以做到立即感应。洪波解释,经过测试,需要250毫秒甚至更短时间,电脑能快速“读懂”患者的想法,判断是抓握、保持还是松开,实现精准解读。在与电脑“对话”时,人脑并不需要依靠强大的意念或重复思考去传达信息。

“如今,自主喝橙汁、喝茶对老杨来说已经是一件很轻松的事情。”洪波说,在长达14年的时间里,患者都无法自行喝水吃饭,“这对他来说,是一个质的变化”。

经过3个月的居家脑机接口康复训练,老杨可以通过脑电活动驱动气动手套,抓握解码准确率超过90%。洪波曾带领团队开展了3年的动物实验。在猪的身上安装电机和体内机后,经过1000多天测试,验证仪器对猪脑膜以下的神经组织不会造成损伤,还可以稳定采集猪大脑中传递的神经信号。直到无线微创脑机接口的临床试验在上海市药品监督管理局备案,并于2023年5月在宣武医院通过伦理审查,他们才开始在人体上进行小规模临床试验。

在宣武医院的中国国际神经科学研究类脑智能临床转化研究中心,设置了脊髓损伤患者的评定区域、日常康复训练区域、脑机接口训练区域等。宣武医院副教授王长明介绍,当患者完成评定后,要在研究中心内接受全模块的训练,即便是回归家庭后,医护团队也会定期随访,进一步促进患者康复。

2023年12月19日,第二例脊髓损伤患者已在北京天坛医院贾旺教授团队手术下成功植入,信号接收正常,目前患者在

与正负电子对撞机一起过年 叩击微观世界大门

新春走基层

中青报·中青网记者 张渺

在北京西郊地下,占地5.75万平方米的北京正负电子对撞机(BEPC)正在运行着。202米长的直线加速器通过两条输运线连接着周长240.4米的环型加速器,正负电子束被加速到符合实验需求的能量,最终抵达最南侧的对撞点。

这里在进行的是,是物理学最微观也最前沿的基础研究。正负电子对撞机是为基础粒子物理研究而建造的粒子加速器,粒子加速器不仅是进行高能物理、原子核物理、生命科学、材料科学等多种基础科学研究的重要实验装置,而且在工农业生产、医疗卫生、工业辐照、航天等领域,也有着广泛的应用前景。

2月2日凌晨,在北京正负电子对撞机的中控室里,一字排开的电脑屏幕上不断有数字跳动,展示着对撞机的运行情况。墙壁上的一排屏幕则分别可以看到不同系统的运行情况。

2时10分,一条原本在屏幕上规律波动的红线(正电子流强曲线)突然急剧直下,落到了屏幕最下方。值班的工作人员立刻紧张起来,这意味着机器出现了故障。经过排查,工作人员

发现加速器真空管道上第二区段两段真空阀门落了下来,阻断了从这里通过的正电子束。

幸好,故障没多久就自动排除,屏幕上,正电子束的曲线恢复了正常。

据中国科学院高能物理研究所加速器中心的研究人员尹頔解释,有时候,故障可以像这次这样自主排除,有时就需要技术人员干涉了。

“大装置里有很多次级系统,比如高频系统、低温系统、束测系统、电源系统,等等。大多时候都在稳定运行,偶尔会出现突发故障。每一个系统对撞机来说都很重要,有时候是单独出现故障,有时候它们可能比较复杂,这就要依靠我们运行值班人员去判断。”尹頔对中青报·中青网记者说。

今年过年期间,尹頔也和前两年一样,陪着这台对撞机一起过年。独自住在员工宿舍的他还记得,每年过年,单位的员工餐厅都会有饺子。

身为90后的魏彦茹,老家在河北,已经多年没能回老家,准备在今年的两次值班间隙,抽空回去两天,陪一陪自己70多岁的母亲。

“主要是因为故障有突发性,所以需要我们要值班人员时刻关注,保持积极的状态。”尹頔说,“我们就是坚守在科研蜂巢里的‘工蜂’。”

同样作为一个90后,尹頔有时会用更活泼的方式,向别人解释自己工作的地方是干什么的:“就是那个在超级英雄电影里让闪电侠变成‘闪电侠’的地方。”朋友们也跟他开玩笑:“你会不会也变成‘闪电侠’?”

当尹頔看到这些超级英雄电影里实验装置出故障的剧情,他的第一反应是“太夸张了”“有BUG”,虽然现实中没有出现过这样严重的故障,但是依然会思考如果自己在现场,该怎么处理,怎么排查。“看电影的时候,我更多会去想怎么能尽快恢复电影里这台机器的运行状态。甚至会想该如何预防,让这种故障不要出现。”尹頔说。

作为加速器中心的应急处理“On Call”(待命)人员,尹頔至今记得刚工作时,突然出现一个故障,“有点慌有点怕”,怕自己不知道怎么办,或者是判断得不对、不及时。

如今,这个33岁的年轻人已经算得



北京正负电子对撞机(BEPC)。

中国科学院高能物理研究所供图

上经验丰富,他略带自豪地告诉记者,其实,“我们的故障率,跟全世界的加速器对比下来,不是很高的”。

这台北京正负电子对撞机,由注入器、输运线、储存环、北京谱仪和同步

辐射装置等多部分组成。它于1988年10月首次实现正负电子对撞,在2009年9月完成升级改造并正式投入运行,除用于高能物理实验外,可作为同步辐射光源提供真空紫外到硬X光,开展凝聚态

物理、材料科学、生物和医学、环境科学、地矿资源,以及微细加工技术等方面交叉学科领域的应用研究,达到“一机两用”。

“每年都有大量的学术论文,基于这些装置而产生。”魏彦茹有些自豪地对记者说。

据了解,粒子加速器是一门多专业交叉融合的综合性学科,它涉及加速器物理和众多高精尖技术,其中包括微波、功率源、超导、低温、超高真空、精密机械、束流诊断、电源、磁铁、电子学、计算机及网络、自动控制、辐射防护等。

魏彦茹的专业正是物理,她告诉记者,如今这台正在运行的对撞机,在去年还当了一把“网红”,出现在了科幻电视剧《三体》中。剧中的物理学家杨冬背后,就是这台对撞机蓝色管道的一部分。

与科幻情节不同的是,现实中的正负电子对撞机并没有受到外星人的干扰,组成物质的最基本的粒子在这里一次又一次对撞,撞出新的实验数据。在这里,粒子物理和核物理的发展脚步不断向前,走向无人探寻过的未知领域。

“物理学就是告诉人们,有些问题是可以得到解答的。然后会发现更多不理解的事情,我们就在探索的路上一直前行。”尹頔说。

这个年轻人仍然记得,自己为什么会走到这条科研之路上来——为了好奇心。