

脑机接口的伦理问题及对策

李佩瑄, 薛贵

北京师范大学, 认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京 100875

摘要 随着神经科学对人脑信息编码和加工机制的深入揭示以及脑机接口技术的日益革新, 脑机接口的范围和精度得到了快速扩大和提升, 应用场景也越来越广泛。伴随着技术与应用的发展, 潜在的伦理问题逐渐暴露。本文结合脑机接口研究进展, 分析其可能存在的安全、隐私、公平及自由意志等问题, 提出降低伦理风险、让脑机接口更好地服务人类的建议。

关键词 脑机接口; 伦理风险; 神经科学

2017年3月, SpaceX、特斯拉汽车和Paypal 3家公司的创始人——埃隆·马斯克(Elon Musk)宣布成立1家名为Neuralink(意为“神经联结”)的新创公司, 该公司致力于直接连接人脑与计算机, 使用脑机接口(brain-computer interface, BCI)技术实现通过想象来控制外部世界的物体, 甚至以此来增强人类的能力(图1)。



图1 埃隆·马斯克与Neuralink
Fig. 1 Elon Musk and Neuralink

与人体相关的科技发展必然伴随着重要的伦理问题。而脑机接口技术直接涉及人类最核心器官——大脑, 所带来的伦理冲击更加显著。本文简要分析脑机接口的使用情景和发展趋势, 并在此基础上, 从安全、隐私、公平以及自由意志问题等方面讨论脑机接口可能带来的伦理问题, 并对如何应对这些问题, 让脑机接口技术更好地服务人类提供思考和建议。

1 脑机接口技术及其应用

1963年, 英国Grey Walter医生将电极插入癫痫病人大脑中, 实现病人通过意念控制幻灯片播放。在当时听起来令人“匪夷所思”的“意念控制”, 其实就是通过植入电极采集人类进行认知活动时大脑神经细胞的电信号, 并用这种电信号来指导外部设备工作。除了植入电极外, 脑电(EEG)和脑磁(MEG)等技术也可以直接记录信号活动。此外, 还可以通过功能磁共振(fM-

收稿日期: 2018-05-01; 修回日期: 2018-05-31

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(31730038); 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2014CB846102); 国家自然科学基金委员会与德国科学基金会合作研究项目(NSFC 61621136008/DFG TRR-169)

作者简介: 李佩瑄, 硕士研究生, 研究方向为学习与记忆认知神经机制, 电子信箱: xy00xuan@yeah.net; 薛贵(通信作者), 教授, 研究方向为学习与记忆的神经遗传机制, 电子信箱: gxue@bnu.edu.cn

引用格式: 李佩瑄, 薛贵. 脑机接口的伦理问题及对策[J]. 科技导报, 2018, 36(12): 38-45; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.12.006

RI)和功能近红外光谱(fNIRS)等技术记录大脑的血氧反应信号。研究者基于大脑信息编码和加工理论,运用各类信号处理方法与机器学习算法等对神经活动进行解码,从大脑复杂信号中“读出”其对应的心理认知活动并加以利用。

随着近几十年神经科学、信号检测、模式识别技术的快速发展,神经活动记录设备、信号处理设备等设施性能的提升,脑机接口不仅在精度上有了很大提高,应用范围也日益扩大,成果越来越令人瞩目。

1.1 实现交流

20世纪90年代,神经科学家菲尔·肯尼迪(Phil Kennedy)曾研发“侵入式”脑电脑机接口,让一位严重瘫痪的病人学会了用大脑控制电脑光标以打字“发声”,当时整个科学界为之一震,许多媒体还称他为“半机器人之父”。2007年,Naito等^[1]也发展了基于功能性近红外光谱(fNIRS)技术的脑机接口系统,这项研究以闭锁综合征患者为研究对象,通过回答“是”“否”来实现交流沟通;回答“是”时增强前额叶活动(如心算),而回答“否”时则减少前额叶活动(如数数)。通过检测和分析前额叶的活动水平来推测患者的答案,平均正确率可达80%。在健康被试身上,这种方法也同样有效^[2-3]。

1.2 控制外界设备

在脑机接口的帮助下,重度运动障碍患者可以通过意念控制机械臂活动,以实现运动或者一些复杂的行为。其中最令人瞩目的成果是由著名神经生物学教授Miguel Nicolelis团队开发的机械外骨骼,让1名高位截瘫患者在2014年的巴西世界杯足球赛开幕式上为世界杯开出第一球(图2)。康奈尔大学Burget等^[4]也将脑



图2 2014年巴西世界杯足球赛开幕式上1位高位截瘫患者身着“机械战甲”开出第1球

Fig. 2 A high paraplegic in Exo-Skeleton kicks off the World Cup

机接口技术与自主服务机器人结合,以帮助瘫痪病人提高生活便利程度。

1.3 人工器官植入

Graeme Clark、Ingeborg Hochmair 和 Blake Wilson 发明人工耳蜗,帮助患者重获听觉(图3)^[5],于2013年获得Lasker-DeBakey临床医学研究奖。2008年4月22日,伦敦 Moorfields 眼科医院施行了一项人造视网膜移植手术,使2位失明患者重获光明,并成功辨认出简单物体。最近斯坦福大学神经学家Chichilnisky提出了仿视网膜神经节细胞的设想,革新“智能假体”。除了感知觉器官外,南加利福尼亚大学神经工程Ted Berger率领的研究小组,在老鼠和灵长类动物身上的进行了初步的人工海马实验^[6],希望在未来可为海马受损的个体恢复记忆提供帮助。

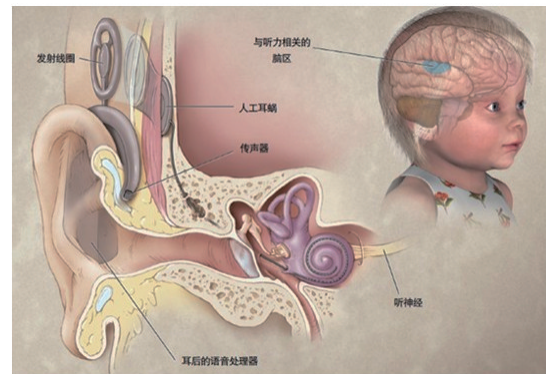


图3 人工耳蜗示意

Fig. 3 Artificial cochlea

1.4 认知增强

相较于传统依据被试行为和身体生理活动作为反馈的训练,神经反馈训练采用脑机接口设备实时监控大脑活动,并实时调整训练方案,对学习者的进行及时提醒,让个体根据大脑活动状态实现自我调节(图4)。



图4 1名儿童在接受神经反馈训练

Fig. 4 A children taking neur of eedback training

2015年,耶鲁大学Turk-Browne实验室采用神经反馈训练,一旦发现被试出现注意分散的情况,则随之提升训练难度,训练后被试注意力保持的水平得到显著提升^[7]。麻省理工学院Gabrieli实验室通过fMRI实时监控学习者的大脑状态,发现在好的学习状态下给他们呈现学习材料,可以有效提高学习的效果^[8]。时间精度更高的颅内脑电信号也可作为神经反馈训练的有效指标^[9]。

1.5 神经预测

除上述个性化应用外,研究者还把个体大脑信息与其他数据融合,进行大数据分析,并实现个性化的神经预测(图5)。这些成果可以应用于不同的领域,包括智力测验、认知障碍分析、脑疾病诊断甚至犯罪倾向预测等^[10]。例如,大脑脑区之间的交流程度越高,人类的思维、推理和处理信息等能力也就越高^[11]。2015年,耶鲁大学的研究者使用功能性核磁共振成像技术对被试的大脑进行扫描和分析,通过每个人独特的大脑内部连接模式以99%的正确率几乎完美地辨认出各个被试^[12]。此外,通过大脑连接特征可以预测一个人的注意力等认知能力水平,区分注意力缺失多动的孩子与正常孩子等^[13]。



图5 脑机接口结合大数据技术进行精准预测
Fig. 5 Precise prediction by combining BCI with big data technology

可以看到,随着脑机接口技术的发展,相关的应用已经越来越广泛。2013年,美国启动规模庞大的“推进创新神经技术脑研究计划”,其目标是实现记录大脑每一个神经元每一次冲动的发放,以精确刻画出大脑活动。另外,光遗传、电刺激、磁刺激和超声波刺激等技术不断成熟,可以实现更精准的大脑刺激和调控,相信脑机接口领域会随之呈现加速度进展的趋势。

2 脑机接口的伦理学问题

自脑机接口技术产生起,伦理问题随之而来。特别是随着这一领域的加速发展,其带来的伦理问题就显得更为突出和重要,也得到学界的广泛关注。2002年,美国科学促进会(AAAS)、《Neuron》杂志、斯坦福大学等机构举办了一系列重要会议,聚集了众多神经科学家和伦理学家共同讨论神经伦理问题,其中最后一次会议影响巨大,相关成果集结成书《Neuroethics: Mapping the field》;2006年,国际神经伦理学学会成立;2008年,《Neuroethics》创刊;2009年,两篇针对脑机接口的神经伦理学开创性文章发表在《Neural Networks》^[14]和《Neuroethics》^[15]上。2017年,包括医生、伦理学家、神经科学家和计算机科学家等在内的20多位研究者联名在《Nature》上发表文章《Four ethical priorities for neurotechnologies and AI》,呼吁加强对神经科学伦理的关注^[16]。以下从安全、知情同意、准确性、自由意志、合理性界定、身份认同和自我同一性、隐私及公平8个方面探讨潜在的伦理问题。

2.1 安全风险

脑机接口的首要问题是安全问题。在众多采集大脑信号的技术中,脑电技术成本较低,信号的时间分辨率较高,在脑机接口中使用更为广泛。如在神经反馈训练、使用脑机接口控制外界机械臂中,多采用非侵入式头戴设备采集人脑头皮电信号。虽然安全无创,但信号质量不高。

若采用侵入式设备,将电极植入到颅腔内脑皮层中,收集到的信号质量更高,定位更加准确,如菲尔·肯尼迪(Phil Kennedy)当时使用侵入式电极信号收集数据,相比非侵入式脑电设备,如利用皮层脑电P300信号响应获取信号来解析,可以更加精确有效地实现交流。还有一些技术比如人工器官,则是需要使用侵入式技术才可以实现相应功能。但侵入式设备对个体意味着较大的创伤和更高的风险。在植入电极过程中可能会使大脑组织产生局部机械损伤。参考深层脑技术(DBS)数据来看,脑部手术有2%~4%的概率产生脑部大出血和2%~6%的概率发生感染^[17]。术后植入电极还可能带来排异反应,引起脑组织损伤。另外,电极植入后的使用时长也尚无可靠数据。虽然有记录显示电极植入五年后仍能继续运作,但是电极的包装、腐蚀、迁移预定位置等问题都有待深入研究。

2.2 知情同意问题

脑机接口的知情同意难点在于一类特殊的病人——闭锁综合征患者,他们无法实现与外界交流。Faden 和 Beauchamp^[18]将知情同意定义为病人或者研究对象的自愿行为,其允许专业人士对其采取医疗措施,或被纳入研究项目中。意味着双方需要就决策本质、干预措施的合理选择,每种选择相应的风险、利益和不确定性等进行讨论,同时评估研究对象的理解程度和对干预的接受程度^[19]。

然而闭锁综合征病人的问题在于,他们究竟能多大程度上代表自己的意愿,他们可能被判定为无民事行为能力的人,需要在别人的帮助下表达意愿。同时,医生和研究人员究竟在多大程度上正确解释了被试的意愿也是一个问题。文献[20]报道,一位因中风而导致右臂瘫痪的患者,医生希望他可以参与一项研究,关于使用脑机接口手段是否可以加速康复。而患者患有轻微的认知障碍,对于医生的要求和可能存在的风险很难理解,但却十分信任他的医生。在这种情况下,仅向患者提出干预这一方案,可能就具有一定的强制性。即使患者同意,他是否适合参与这项研究仍值得质疑。

此外,临床应用中知情同意的透明化也成为近年来研究者关注的一个重要问题^[21]。在脑机接口的临床应用和研究中,存在被试对实验的期待可能与实际不符的问题。每个被试都希望脑机接口设备可以个性化改善甚至消除自己当下的困境^[22],但可能现有的设备不能很好地针对被试的需求^[23],无法满足被试的期望。但另一方面来看,被试的积极配合和参与将会对该领域的研究进展做出贡献,未来很有可能这种设备会取得成功,而被试不一定能在短时间内使用这种成果。此时,研究者是否应该告诉被试完整的实情^[24]?

脑机接口知情同意问题,是损伤认知的疾病和脆弱的参与者的结合,更要求对风险和利益、知情同意的过程进行仔细而谨慎的评估,这一方面仍需要进行相关研究和制定相应措施保障。

2.3 准确性风险

由于大脑中信号庞杂纷扰,从中提取信号并解析信号的技术仍需发展,对于信息准确性尚无可靠评定。另外,大脑与行为之间的关系也非常复杂,大脑由多种信号共同决定一个行为,而这些信号与行为的对应关系还没有被完全、清楚地认识,贸然解读会带来很

多潜在风险。例如,当一个需要由脑机接口控制外部机械臂来行动的人,面对一个充满诱惑的刺激如毒品时,大脑的奖赏系统可能希望获取毒品,而前额叶则会产生自我控制的信号以拒绝毒品。如果脑机接口仅依据奖赏系统的活动来决定个体的行为,机械臂解析相应信号,就会帮残疾人吸食毒品,产生违背个人意愿的严重错误。究竟大脑中有哪些相关信号共同决定了行为的产生,怎样的组合才可以最真实、最准确地代表个体决定将采取的行动,这些都是需要研究者进一步探究的领域。在没有探究清楚的情况下,无论技术如何发展,都难以避免错误的产生。准确性问题在大数据个性化预测中同样非常关键,特别是在犯罪意图等的判断上,错误的判断会带来严重的后果。

更重要的问题在于,如果是人产生的错误,无论有意无意,均需要承担自己行为的后果;但如果是脑机接口产生的错误,这样的责任谁来承担?如果纯粹是由设备出错造成损失,例如汽车自动驾驶系统出错,可以明确界定由生产企业来负责;但脑机接口工作时一方面需要使用者本身发出的大脑信号,另一方面还要使用设备内设的算法对大脑信号进行解析。很多时候可能难以分辨究竟是大脑指令本身的原因,还是脑机接口设备的错误,这就会带来重要的法律问题。

2.4 自由意志问题

设想当驾驶员驾驶了一辆配备了脑机接口系统的自动驾驶汽车,由于工作繁重导致非常疲劳,没有注意到前面的行人,这时候汽车的自动驾驶系统检测到了这个情况,紧急启动了刹车系统,避免了重大交通事故的发生。这是一个非常美好的情况。但假设当时驾驶员有故意撞倒行人的意图,或想有冲下悬崖自杀的念头,自动驾驶的刹车行为是否违背了人的自由意志?这样的情形在脑机接口中会变得非常普遍。一旦这个系统可以准确读出人的种种意图,那系统该如何反应,才能实现安全和自由意志的统一;脑机接口设备是否应该出现对人类意图的“自动报警”甚至“自动纠错”功能;若脑机接口的“自动纠错”安全阈限未能成功阻止灾难,脑机接口生产厂家是否应该承担责任;若成功制止住,使用者的自由意志是否受到威胁?

除了人和脑机接口在对自由意志控制权的争夺外,也涉及到别人和自己对自由意志的争夺。法律规定不能在违背当事人意愿的情况下强迫其做一件事情。但在某些情况下,他人可以替代当事人做出决定,

例如在失去意识的情况下进行治疗;违背当事人的意志进行强制戒毒(吸毒患者)、强制治疗(精神病人)、强制隔离(传染病患者)、强制关押(罪犯)。除了前面的情况,还存在着不易清楚划分的情形,例如对于一个成年的抑郁病人,或者轻度的痴呆病人,是否接受治疗是不是应该由病人本人决定。

另外,是否违背了自由意志的界定会受到干预措施对人的自由造成的影响的左右(短暂的限制自由更容易接受),还取决于干预措施所带来的后果(很大的改变则不容易接受)。所有这些都会影响到谁有权让另外一个人使用脑机接口的设备,以及在脑机接口中实现什么样的功能。

脑机接口还会涉及到更深层的自由意志问题,例如在无意识状态下改变个体的行为和决策。现实生活中有多种情况都会违背一个人的自由意志。例如,在人有意识的情况下胁迫其违背自己的意愿,或者让人丧失意识后(麻醉、昏迷等)从事意识清晰情况不会做的事,这两种情况都相对容易界定。而第三种情况就比较困难,那就是在人有意识的情况下通过一些手段无意识地改变人的行为。比如有名的可口可乐实验,通过在电影放映过程中极快地闪现可口可乐的商标,以致观众完全没有意识到自己看到了商标,在意识水平之下增加购买可口可乐的行为。但是以下的情况中,某个方法是在无意识水平还是意识水平改变了行为则很难界定。例如一个销售人员通过很好的销售策略激发了顾客的购买欲望,购买了其产品;而另外一个销售人员使用了一种引起顾客有购物冲动饮料(例如酒精,这在赌场非常常见,但顾客并不知道摄入酒精会增加冲动购物行为);第三个销售人员让顾客试戴一个可以诱发购买欲望的设备(其作用和机制顾客并不清楚)。从本质上讲,这些行为都改变了人的决策能力,但是否违背了人的自由意志?不难想象,脑机接口拥有巨大的无意识影响个体行为的能力,但如何界定这些操作是否符合伦理,并在法律和道德层面加以规范,是需要今后加强研究和讨论的重要问题。

2.5 对合理性的界定问题

提高个体能力和身心状况是社会和个体活动的一个重要目的。但人们在发明、选择和使用某个能力提升手段时,会判断该手段的合理性。例如人们欣然接受并鼓励运动员通过不断的训练来提高体育成绩,但对运动员服用兴奋剂来促进表现则会施加一定的惩

罚,而在使用高科技手段(例如更好的运动装备)上则存在激烈争论。脑机接口技术的一个重要功能是增强认知能力,该技术是否合理值得探讨。大多数人希望自己或者和自己利益相关的人的认知能力更强,并采取相应的措施。例如,马上要参加一场重要的考试或者面试,可以采用如下措施做准备:(1)提前一个月天天锻炼身体;(2)考试之前吃了顿好的,看场励志的电影,好好睡了一觉;(3)认真复习,把知识都装在脑子里;(4)把可能考的题目和答案抄在纸上、存在手机里或互联网上,或者带上一个提升大脑能力的脑机接口设备;(5)平时睡眠有问题,考试前一晚上吃了一片安眠药;(6)考试前吃一片提升大脑工作能力的药片;(7)在大脑中植入了一枚存储了各种知识的记忆体;(8)这个记忆体是由于早年大脑受损导致了记忆衰退,为了恢复记忆功能而植入,但这个装置不仅恢复了人的记忆,并且比一般人的记忆能力更好。

多数人可能觉得(1)~(3)和(5)都是非常合理的;(4)也可能是合理的,如果人人平等的话(类似于开卷考试);(6)可能不太合理,虽然也算是平等的(如果人人都可以买到药片的话);(7)可能不太容易接受;但(8)的合理性会高一点。可以发现,在对合理性进行界定的时候,人们通常会考虑自然与人造的差异、内部与外部的差异,治疗与增强的差异,前者往往更容易接受,而后者往往不太容易接受。但这样的差异往往并不是绝对,食物、中药是否比西药更加自然?记在大脑中就比记在书上和手机里面更加合理(电子设备和互联网已经越来越重要地成为人脑记忆的延续和补充)?将一个芯片植入大脑内部与放在大脑外部(如手机、电脑)之间存在本质差异?一种治疗手段就只能恢复健康,不可以进一步增强能力?脑机接口原本是为了代偿脑损伤导致的部分脑功能缺失^[25],而未来可能产生一系列所谓“人造”、“外部”和“增强”的设备,对其合理性的界定需要深入研究。

2.6 身份认同和自我同一性问题

由于脑机接口的对象是人的大脑,它能够直接改变人类最核心的部分,包括认知能力、人格特征乃至自我概念,这种变化可能会带来非常深刻的身份认同和自我同一性的问题。由于人的身份和自我概念是长期形成并相对稳定的,变化也相对缓慢,有着延续性和统一性,而一旦这种缓慢规律被脑机接口治疗打破,改变太快、太大都会造成自我同一性的混乱,反而带来负面

影响。众所周知,在康复医疗中,被试参与治疗的动机是让自己更完整、实现有效沟通和运动以及摆脱患者身份的渴望。但是,如果治疗在短时间就产生了突出的效果,虽然是理想的变化,但可能也会由于突然的改变而造成身份认同的困难。这样的情况在医疗伦理中也存在,例如残疾治疗、整容等也会带来自我概念的变化。这种变化在脑机接口中则可能更加突出。设想两天前还是一个抑郁寡欢的人,经过治疗后变得异常活跃、积极外向,这不仅会让他人惊奇,也让自己困惑。在智力方面的改变也同样如此。

更重要的是,脑机接口还会由于归因问题,损伤自我同一性,干扰人们对自我身份的认同感,动摇自我本质和个人责任的核心假设。文献[26]报道,一位使用大脑刺激治疗抑郁症长达7年的患者,在焦点小组中报告自己对于“我是谁”倍感疑惑,开始怀疑他与其他人交往的方式到底是他自己控制的,还是他所佩戴的设备所实现^[26]。这种深层次的自我同一性混乱会带来很多的困惑,从而产生更深层的情绪困扰。这就像一个父母天天帮助孩子行动和决策,也会带来孩子的身份认同危机,缺乏责任心等问题。

2.7 隐私问题

现在很多大数据公司会根据用户的网页浏览习惯,定制化推荐商品和广告。有研究者可以根据个人在社交网络的点赞行为,准确地预测个体的性别、职业和人格特征^[27]。Facebook公司等根据用户在平台上的使用数据来研究和检测自杀倾向,并采用相应的干预措施^[28]。这样的大数据分析和应用,容易侵犯个人的隐私,Facebook也因违规泄露用户数据被起诉。而基于脑机接口的数据特性,神经信号携带了丰富的个人信息,有理由相信,随着数据的累积,它对个人特性的描述会更加全面、准确和深入。例如,群体水平的大数据分析能够实现对一些重要个人特征的预测,包括智力、动机、人格、患病概率、忠诚度、犯罪企图等,而对单个人大脑信号进行长期记录和解码,能够实现大脑状态和“意念”的实时动态监测。这些数据则涉及到个人最为核心的隐私,关乎精神内容。保护大脑数据的隐私和完整性是最有价值 and 不可侵犯的人权^[29]。因此在发展相关技术的同时,需要非常关注这些数据的使用以对用户个人隐私进行保护。例如,一个人的智力数据是不是可以用在各种录取、招聘、升职等场景中;一个人的人格、政治倾向、性取向等是否可以作为人员选择

的基础;一个人的智力水平、大脑健康状况、发生脑疾病的概率能否被用来决定享受服务(如购买保险,培训等)的价格。再例如,通过脑机接口解析大脑特质进行神经预测的方法,监狱管理员是否可以凭此来判定一个犯人释放后会不会对社会造成危害,从而决定是否释放一个人;同样的技术是否可以用来拒绝一个有恐怖袭击念头的人登机或者入境。除了前面提到的情况,哪些数据是可以获取的,哪些数据是可以分享的,哪些数据是可以利用的,均需要根据不同的应用情景进行深入分析。

2.8 公平问题

公平和平等是一个社会的核心问题。虽然不公平和不平等是一个社会的常态,也被社会所接受,但脑机接口技术所带来的公平和平等问题更值得深思。

例如,不同的人所拥有的物质财富不平等,其生活条件和医疗水平等差异也进而影响不同人寿命的差异,这些差异非常突出和直观,其带来的影响也相当巨大,受到的社会关注也非常大。除此以外,这些物质和环境的差异也会对下一代产生影响,比如影响孩子的营养、教育机会,从而带来其大脑和认知能力发展的差异;而社会资源的不同也带来了孩子发展机遇的差异。这些财富和社会资源不平等带来的后代认知和社会发展的差异则显得更加隐性,受到的社会关注程度相对较低,社会接受度也相对较高一点。

但随着脑机接口和认知增强技术的发展,个体的认知能力会随着这些技术的应用得到显著的变化,其所带来的不公平性问题就会凸显。如果这样的技术由于价格、技术控制、市场管控等原因,只能被少数人所使用,则会让现在看似公平的制度变得非常不公平。例如,如果只有少部分人能使用智能增强设备,他们在考试和工作中就会有更突出的表现,在收入和社会地位上就占据优势,加大了人与人之间的不平等性。研究发现,智力因素是影响一个人多方面表现,甚至社会阶层的重要因素。因此,这种少数人独占认知增强技术所带来的认知能力的不平等会带来更加深层的社会鸿沟,并有可能进一步扩大社会的不平等性。而这样的不平等是通过现有的税收等经济和行政手段所难以缓解的。另外,结合前面公众对手段合理性的理解,这样的技术所带来的不公平性就比其他所谓更合理的手段(例如有钱人家的孩子有机会接受更好的教育)所带来的不平等更难以让公众接受,从而加大社会的矛盾。

3 应对脑机接口伦理学问题的建议

脑机接口等神经科学手段对未来社会和个体所带来的变化将会是非常深刻的,随之而来的伦理学问题也是非常真实和严肃的。但与此同时,中国对这些问题的研究、思考和认识却相对滞后。为了更好地应对脑机接口伦理学的问题,促进脑机接口技术的健康发展,更好地服务于人类社会,提出如下建议。

1) 加强对脑机接口伦理问题的研究和研讨。政府、行业组织和研究基金应增加重视,加强对此类研究和研讨活动的支持和资助。神经科学相应研究机构和学会组织应该积极主动行动。社会公益基金和媒体加大支持和宣传。这些欧美国家已经走在前面。美国自然科学基金和达纳(DANA)基金会都有专项支持,一些大学和学会组织也发起了相应的研究中心和学会,出版界也通过发起专门的学术刊物、发行专刊、出版专著等形式扩大影响,以及举办相应的会议,如自2005年起每年召开的脑机接口国际会议(International BCI Meeting)。

2) 脑机接口研究和生产机构要加强研发、改进和完善技术与方法,从而提高精度并降低风险。同时充分认识其所带来的安全和准确性风险,规范使用,让脑机接口更安全,更有效服务于社会需求。同时学习国外经验,如采取相应软硬件保障措施、增加神经技术设备安全性以保护个人大脑的数据隐私等^[30]。

3) 加强公众宣传,增强公民意识。通过宣传和普及,让公众充分认识到各项技术对人的认知和人格等可能带来的巨大变化和影响,了解其中潜在的各种安全和隐私因素,以及对社会公平等所带来的影响。充分认识和评估风险-收益比,实现最佳决策。

4) 贯彻知情同意原则。要在各项通过脑机接口技术实现治疗和干预提升的实践中充分贯彻知情同意原则。完整介绍和详细解释其中的技术过程、其所带来的潜在收益和风险、所收集的数据和使用范围、个人隐私保护等问题,让参与人在完全知情和自愿的情况参与。

5) 要加强国家立法和行业自律。各个相关行业也应该充分研究,加强规范和标准建立,自觉提升行业规范性。政府要在充分研究和征求专家意见的基础上,提前行动,做好立法准备和手段储备,规范行业操作流程,切实保护用户数据和个人隐私,促进社会公平。

有理由相信,在社会各界的共同努力下,脑机接口一定会让曾经的科幻构想逐渐成为现实,让人们的生活一步步变得美好。同时人类也一定能够有效管控和处理这些潜藏的风险和伦理问题,确保这项革命性的技术可以推动人类进步并促进社会和谐。

参考文献(References)

- [1] Naito M, Michioka Y, Ozawa K, et al. A communication means for totally locked-in ALS patients based on changes in cerebral blood volume measured with near-infrared light[J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 2007, 90(7): 1028-1037.
- [2] Naseer N, Hong K S, Bhutta M R, et al. Improving classification accuracy of covert yes/no response decoding using support vector machines: An fNIRS study[C]//2014 International Conference on Robotics and Emerging Allied Technologies in Engineering (iCREATE). Piscataway NJ: IEEE, 2014: 6-9.
- [3] Power S D, Falk T H, Chau T. Classification of prefrontal activity due to mental arithmetic and music imagery using hidden Markov models and frequency domain near-infrared spectroscopy[J]. Journal of neural engineering, 2010, 7(2): 026002.
- [4] Burget F, Fiederer L D, Kuhner D, et al. Acting thoughts: Towards a mobile robotic service assistant for users with limited communication skills[C]//2017 European Conference on Mobile Robots. Paris: Autonome Intelligente Systeme, 2017, doi: 10.1109/ECMR.2017.8098658.
- [5] Williams C. Hearing restoration: Graeme Clark, Ingeborg Hochmair, and Blake Wilson receive the 2013 Lasker-DeBakey Clinical Medical Research Award[J]. Journal of Clinical Investigation, 2013, 123(10): 4102-4106.
- [6] Deadwyler S A, Hampson R E, Song D, et al. A cognitive prosthesis for memory facilitation by closed-loop functional ensemble stimulation of hippocampal neurons in primate brain[J]. Experimental Neurology, 2017, 287: 452-460.
- [7] Cohen J D, Lee R F, Norman K A, et al. Closed-loop training of attention with real-time brain imaging[J]. Nature Neuroscience, 2015, 18(3): 470-475.
- [8] Yoo J J, Hinds O, Ofen N, et al. When the brain is prepared to learn: Enhancing human learning using real-time fMRI[J]. Neuroimage, 2012, 59(1): 846-852.
- [9] Burke J F, Merkow M B, Jacobs J, et al. Brain computer interface to enhance episodic memory in human participants[J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2015, 8, doi: 10.3389/fnhum.2014.01055.
- [10] Poldrack R A, Monahan J, Imrey P B, et al. Predicting violent behavior: What can neuroscience add[J]. Trends in Cognitive Sciences, 2017, 22(2): 111-123.
- [11] Li Y, Liu Y, Li J, et al. Brain anatomical network and intelligence[J]. PLoS Computational Biology, 2009, 5(5): e1000395.

- [12] Finn E S, Shen X, Scheinost D, et al. Functional connectome fingerprinting: identifying individuals using patterns of brain connectivity[J]. *Nature Neuroscience*, 2015, 18(11): 1664.
- [13] Rosenberg M D, Finn E S, Scheinost D, et al. A neuromarker of sustained attention from whole-brain functional connectivity [J]. *Nature Neuroscience*, 2016, 19(1): 165.
- [14] Haselager P, Vlek R, Hill J, et al. A note on ethical aspects of BCI[J]. *Neural Networks*, 2009, 22(9): 1352–1357.
- [15] Tamburrini G. Brain to computer communication: ethical perspectives on interaction models[J]. *Neuroethics*, 2009, 2(3): 137–149.
- [16] Yuste R, Goering S, Bi G, et al. Four ethical priorities for neurotechnologies and AI[J]. *Nature News*, 2017, 551(7679): 159.
- [17] Foley P. Deep brain stimulation for Parkinson's disease: Historical and neuroethical aspects[M]//*Handbook of neuroethics*. Netherlands: Springer, 2015: 561–587.
- [18] Faden R R, Beauchamp T L. A history and theory of informed consent[M]. Oxford: Oxford University Press, 1986.
- [19] Chenaud C, Merlani P, Ricou B, et al. Research in critically ill patients: Standards of informed consent[J]. *Critical Care*, 2007, 11(1): 110.
- [20] Vlek R J, Steines D, Szibbo D, et al. Ethical issues in brain-computer interface research, development, and dissemination [J]. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 2012, 36(2): 94–99.
- [21] Benchoufi M, Porcher R, Ravaud P, et al. Blockchain protocols in clinical trials: Transparency and traceability of consent [J]. *F1000Research*, 2017, 6, doi: 10.12688/f1000research.10531.5.
- [22] Sullivan L S, Klein E, Brown T, et al. Keeping disability in mind: A case study in implantable brain – computer interface research[J]. *Science and Engineering Ethics*, 2017, 24(2): 479–504.
- [23] Garden H, Bowman D M, Haesler S, et al. Neurotechnology and society: Strengthening responsible innovation in brain science[J]. *Neuron*, 2016, 92(3): 642–646.
- [24] Panuccio G, Semprini M, Natale L, et al. Progress in Neuroengineering for brain repair: New challenges and open issues[J]. *Brain and Neuroscience Advances*, 2018, 2, doi: 10.1177/2398212818776475.
- [25] Tankus A, Fried I, Shoham S. Cognitive–motor brain – machine interfaces[J]. *Journal of Physiology–Paris*, 2014, 108(1): 38–44.
- [26] Klein E, Goering S, Gagne J, et al. Brain–computer interface–based control of closed–loop brain stimulation: Attitudes and ethical considerations[J]. *Brain–Computer Interfaces*, 2016, 3 (3): 140–148.
- [27] Youyou W, Kosinski M, Stillwell D. Computer–based personality judgments are more accurate than those made by humans [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, 112(4): 1036–1040.
- [28] Vanessa C B, Jennifer G, Antigone D. Building a safer community with new suicide prevention tools[N]. *Newsroom*, 2017–03–01.
- [29] Lavazza A. Freedom of thought and mental integrity: The moral requirements for any neural prosthesis[J]. *Frontiers in Neuroscience*, 2018, 12: 82.
- [30] Kellmeyer P. Big brain data: On the responsible use of brain data from clinical and consumer–directed neurotechnological devices[J]. *Neuroethics*, 2018: 1–16.

Ethical issues of brain computer interface and its solutions

LI Peixuan, XUE Gui

State Key Laboratory of Cognitive Neuroscience and Learning & IDG/McGovern Institute for Brain Research; Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract With the rapid advance of the neural science in decoding the human brain signals and uncovering its information processing mechanisms, as well as the innovations of the brain–computer interface technologies, the scope and the precision of the brain computer interaction (BCI) are greatly improved. Along with the development of the BCI technologies and their applications, the potential ethical issues have emerged, with an increased importance for a further study and it becomes necessary to develop effective strategies to regulate the applications of BCI technologies. This paper reviews the recent advances of the BCI technologies, and discusses the potential ethical challenges to the society, including the security, the privacy, the fairness and the free will. Some suggestions are made to reduce the ethical risks.

Keywords braincomputer interface; ethical issues; neuroscience ●



(责任编辑 刘志远)