



医学领域脑机接口技术应用的伦理挑战与应对路径

谢宗旺

河海大学马克思主义学院，江苏 南京 211100

摘要：脑机接口技术作为人类增强技术的重要组成部分，在医学领域具有广泛的应用场景，特别是在神经系统疾病的治疗和康复层面相比传统疗法具有显著优势。同时，脑机接口技术在医学领域的应用带来伦理层面的挑战，一是隐私问题与人的自主性迷失，二是引发相关主体及法律的责任归属困境，三是对使用主体造成潜在的心理健康影响，四是引发的技术公平性争议。应对脑机接口技术在医学层面产生的伦理问题，一是建立应对脑机接口技术隐私风险的伦理原则，二是通过技术治理与非技术治理厘清责任归属，三是引导各方主体提升对脑机接口技术的心理认知水平，四是通过技术优化提升保障水平。应在脑机接口技术的医学应用中，始终确立技术向善的目标指向。

关键词：脑机接口技术；医学；伦理挑战；伦理原则；应对路径

中图分类号：R-052

文献标志码：A

文章编号：1671-0479(2025)06-540-007

doi:10.7655/NYDXBSSS250310

人工智能技术的快速发展让人类增强技术获得了发展机遇。脑机接口(brain-computer interface, BCI)技术作为当前人类增强技术的前沿应用，在医学领域具有广泛的应用前景和应用场域。但脑机接口特别是侵入式脑机接口对人体造成了新的改变，对传统的医学伦理造成了新的冲击，需要对这一技术的应用进行伦理再审视。当前学界关于脑机接口技术在医学层面的研究成果颇丰，主要分为两种观点。一是在医疗领域的应用研究，王珂等^[1]探讨了脑机接口技术对脑卒中患者康复的应用前景，邹贵娣等^[2]将脑机接口技术与外骨骼机器结合，对脑梗死患者进行手部功能康复；二是对医疗领域法律规制问题的研究，李筱永等^[3]认为医疗脑机接口技术应该适度规制，需要兼顾生命身体健康权和人性尊严法益，张曼^[4]关注到脑机接口技术涉及的脑隐私问题，提出在个人信息保护法框架内，脑隐私的采集、使用和用益均应坚持严格法定主义。可以看出，在医学领域对脑机接口技术应用审视的研究成果颇为丰富，但在实际应用中，脑机接口技术带来了新的伦理挑战，从伦理视角回应前沿技术的伦理问题，提出针对性的应对路径，对合理应用脑机接口技术具有前瞻性意义。

一、脑机接口技术在医学领域的应用现状

马克思曾将科学技术比喻为“一个伟大的历史杠杆”^[5]，因为科技的发展让人类生活发生了翻天覆地的变化。医学作为与人们日常生活息息相关的领域，更加需要前沿科技的技术支撑。脑机接口技术是在人或动物的大脑运用集成电路同外部设备建立通路，实现脑部与外部设备信息交互的技术，实质是依靠脑电波实现对外部设备的操控与感知。目前，脑机接口技术可以分为非侵入式脑机接口(Noninvasive BCI)、侵入式脑机接口(Invasive BCI)、介入式脑机接口(Interventional BCI)、修复型脑机接口(Restorative BCI)、增强型脑机接口(Augmentative BCI)、脑电(Electroencephalogram, EEG)等形式，在神经系统疾病治疗、康复以及预后辅助等方面发挥作用。

(一) 脑机接口技术有助于神经系统疾病的治疗

神经系统疾病在临幊上具有急慢性并存、高致残(死亡)率、病程波动等特点，发展速度较快，且易产生不可逆的后果，需要临幊层面进行及时干预治疗。脑机接口技术在神经系统疾病治疗过程中能够发挥独特优势，通过脑电波的活动，对神经系统

收稿日期：2025-07-28

作者简介：谢宗旺(1997—)，男，黑龙江齐齐哈尔人，博士研究生在读，助理工程师，研究方向为马克思主义基本原理。

疾病进行深层次的把握与感知,从而精准判断神经系统疾病的发生与干预活动。癫痫和帕金森病是神经系统常见的两种疾病,也是脑机接口技术应用治疗的良好场景,以这两种疾病为例,可以了解脑机接口技术治疗神经系统疾病的概况。

1. 脑机接口技术与癫痫的治疗

癫痫(Epilepsy)是一种慢性脑部疾病,源于大脑神经元突发性的异常放电,具有反复性、发作性和短暂性中枢神经系统功能失常的临床特征。这种疾病的发作会带来大脑的异常电活动,也就是说,癫痫的产生是源于脑电波的异常。因此,对脑电波的日常监测成为预防癫痫的重要手段。脑机接口特别是侵入式脑机接口可以通过外科手术植入电极,实时监测大脑的异常电活动并提前干预^[6]。脑机接口还可以精准定位癫痫的病灶位置,脑电波通过脑机接口电极的传输,实现医生对获取的脑电波信息解码,及时准确找到癫痫发作的病灶区域以及明确病程发展,提供实时的癫痫发作预测^[7],从而为治疗癫痫提供新的路径。

2. 脑机接口技术与帕金森病的治疗

帕金森病(Parkinson's disease)是常见于中老年人的神经系统变性疾病,具有静止性震颤、运动迟缓、肌强直和姿势平衡障碍的临床特征。利用脑机接口治疗帕金森病,目前临床层面有两种路径。一是通过侵入式脑机接口,在脑部相应区域植入电极进行脑刺激,精准调控神经核团,帮助患者控制震颤和运动障碍症状^[8],优化对帕金森病的治疗效果,减少普通药物治疗带来的不良反应;二是通过非侵入式脑机接口,对患者进行实时脑电图反馈训练,这种训练可以帮助患者进行自我调控,进而达到抑制病症的效果。

(二) 脑机接口技术帮助实现神经系统疾病的康复

神经外科与脑机接口技术的结合代表了神经科学与工程技术发展的前沿方向^[9],为神经系统疾病的康复提供了新的路径和可能。传统意义上对神经系统疾病的康复主要采用物理治疗、作业治疗、言语治疗、药物治疗等方式,而脑机接口技术的运用能够实现在对临床疾病的治疗后,对运动功能和认知功能的康复。

1. 脑机接口具有辅助脑卒中、脑外伤患者恢复运动功能的应用图景

从前述对癫痫、帕金森病等概述中可以看出,这些神经系统疾病对患者的影响大多具有不可逆性,脑卒中、脊髓损伤或运动神经元病导致瘫痪的患者应然成为脑机接口功能恢复的主体。通过对脑卒中、癫痫和帕金森病等患者的病程判断,临床层面常常利用非植入式脑机接口引导神经可塑性

来恢复受损功能^[10],如脑控外骨骼、功能性电刺激系统与大脑信号连接实现自主运动训练。

2. 脑机接口在神经系统疾病认知康复领域发挥辅助作用

脑机接口技术在改善失语症、记忆力减退等病症上具有良好的作用,其原理在于,脑机接口技术将大脑意图转化为文字、语音,帮助重度瘫痪患者重新建立与外界的交流渠道。这种渠道的建立,能够让患者在康复过程中重新建立信心,形成自我认同,从而重新发挥人的主体性作用。

二、脑机接口技术在医学应用中 引发的伦理挑战

科学技术的发展固然会让人们的日常生活产生新的变化,但唯物辩证法认为,事物的发展具有两面性,科技发展能够带来便利的同时,也会带来新的困难与挑战。脑机接口在医学领域的运用能够对一些疾病的治疗具有积极作用,同时也会相应地带来伦理层面的挑战,特别是在隐私问题、责任归属、心理健康以及技术公平等方面产生伦理问题。对这些伦理现象进行分析解剖,能够为针对性应对伦理挑战提供现实观照和理论基础。

(一) 脑机接口带来新的隐私问题与人的自主性迷失

医学的发展是基于对人的不断认知而前进的,脑机接口技术能够应用于人,其根本就在于人对技术有新的需要。换言之,技术能够解决人的问题。马克思认为人在现实社会中具有至高无上的主体地位,“人,不仅一个人,而且每一个人,是享有主权的,是最高的存在物”^[11]。但在新技术的实践中,脑机接口技术在人的隐私问题和人的具身自主性问题上带来新的伦理挑战。

1. 脑机接口带来侵犯个人隐私的新问题

脑机接口电极的植入改变了传统外科手术的观念,传统外科手术通过对病灶进行切除或进行器官替换来实现对病情的处理,而脑机接口的外科手术通过植入电极,能够在皮下采集相应区域的脑电信号,通过解码和转换,从而被识别^[12]。在临床过程中,这种数据的采集和使用能够快速、准确识别脑电波的异常波动,从而为病症治疗争取时间。但同时也要看到,此类数据采集在一定程度上对患者的个人隐私是一种侵犯,此种诸如个人思想、情感、记忆片段等数据原本应属于个人所有,脑机接口的介入让这些数据存在泄露的风险,并且从法律层面上看,目前对神经信号的特殊保护仍存在法律空白^[13]。因此,脑机接口对个人隐私问题带来的伦理挑战亟待关注与讨论。

2. 脑机接口对人的具身自主权产生新的挑战

一般意义而言,人对自我身体具有绝对控制性,这种控制在哲学层面被定义为“具身”,而学界普遍将脑机接口技术所引起的行动认为是“超越身体的非具身性质的感知行动过程”^[14],脑机接口的应用将研究视域从“具身”向“离身”转变,即从“心身合一”转变为“心身分离”。主体在使用脑机接口过程中,自身对大脑信号的自主控制权也从绝对控制向相对控制转变,而这种相对控制,则产生于植入电极对人体自身的影响。同时还要看到,这种具身自主权还出现在主体决策上,往往有神经疾病的患者会出现意识模糊等情况,在这种情况下,患者近亲属会代为行使知情同意权,即同意使用或拒绝使用脑机接口技术,但这种知情同意权的行使是否与患者本人意志相符尚不得知。因此,会出现患者和近亲属认识不一致的情况^[15],从而对人类的具身自主权产生新的挑战。

(二) 脑机接口引发相关主体及法律的责任归属困境

对于技术发展而言,责任问题是不可绕过的重大领域,每一代技术的发展都会带来相应的责任归属困境,包括当前人工智能领域遇到的复杂问题,脑机接口技术同样面临诸多的责任归属问题。从紧迫性上看,由于脑机接口技术往往需要通过外科手术进行电极植入,其责任问题显得尤为重要。如何实现 Vansteensel 提出的“做有益的事,避免有害的行为”^[16],成为脑机接口责任归属问题需要讨论的重点所在。

1. 脑机接口使用中的主体责任问题

脑机接口的使用就其本身而言,依然是属于人的问题,但当前有学者将植入脑机接口设备后的人称为“电子人增强”^[17],将一般意义上的人与脑机接口治疗后的人进行了相应区分。这也带来一个责任层面的问题,即人在脑机接口设备的辅助下,实施的决策是否具有效力存在争议^[18],换言之,在脑机接口设备的加持下,人的决策是人本身作出的还是脑机接口设备作出的。这个问题指出在脑机接口使用下责任问题的复杂化,也指明责任的相关主体呈现复杂化,形成了脑机接口的责任“多手问题”^[19]。因此,厘清并明确相关责任主体的责任区域及划分,成为解决主体责任问题的关键,并且在实践中不断对争议责任区域进行改进。

2. 脑机接口主体责任复杂化引发的法律归属问题

主体责任的归属困境会带来法律责任的归属问题,这种法律责任归属问题其成因源于法律的滞后性。法律滞后性是指,“制定出来的法律与社会现实存在着一定的脱节现象,不能够满足社会发展

的需求”^[20],换言之,脑机接口作为新兴科技力量,其应用与发展尚未具有法律层面的针对性责任判定,从而产生监管缺位的情况。同时要注意到,脑机接口技术的应用会涉及多方主体,例如当事人、家属、医院、科技公司等,而各个行使主体在使用脑机接口过程中,难免会出现责任交叉的情况,导致责任缺乏明晰划分。因此,在出现技术错位、医疗纠纷等新情况时,如何从法律层面进行合理判定,这是当下脑机接口引发责任归属困境的又一伦理挑战。

(三) 脑机接口对使用主体的心理健康产生影响

身体对现实的人而言具有至高无上的地位,而人脑作为身体的重要组成部分,为探究人体认知、发育和疾病机制提供了优质模型^[21],是人的意识产生的重要器官。马克思认为,“有意识的生命活动把人同动物的生命活动直接区别开来”^[22],意在说明意识对人类而言具有重要作用。脑机接口的植入与使用,从功能上让人类可以依靠自己的意识对身体进行操控,让部分身体功能缺失的使用主体实现了功能替代性恢复,但伴随而来的心理伤害同样巨大,其对患者心理产生的隐性伤害以及自我认同问题成为脑机接口技术发展的伦理挑战之一。

1. 脑机接口对患者心理产生隐性伤害

斯宾诺莎认为,“如果心灵不能思想,则身体便不能运动”^[23],这一论述虽然带有唯心史观的意味,但依然明确心理与身体之间所具有的紧密联系。脑机接口技术带来心理层面的伦理挑战同样不可小觑。一方面,脑机接口让现实的人成为“心身异构”的“增强人”,其行为决策既有主观论断,也具有算法考量,这种境况下,人是否还是传统意义的人,对于患者自身而言,可能也会产生心理疑问;另一方面,脑机接口在大脑中产生的外来电刺激、信号干扰情况同样会对主体产生可能的心理影响,例如在长期使用中,主体可能会产生人格改变、认知偏差、成瘾现象等情况,一定程度上对其精神健康产生威胁。

2. 脑机接口在主体心理层面的自我认同问题

探讨人的自我认同必然绕不开人的主体性问题,基于学界在哲学层面对主体性问题的分析,可以将主体性定义为“主体的本质特性,是主体在对象性活动过程中的特性”^[24],其中就包括自我认知、自主思考、自我认同等细分领域。从人的心理发展来看,实现自我认同的前提在于完整的自我认知,换言之,了解自身才能够认同自身。脑机接口的使用能否让患者主体在术后实现自我认同,虽然在术前患者已经知晓脑机接口技术对身体的改变,但彼时的知情同意是否可以持续至术后,并且术前的知情同意可能带来心理异化问题,这些问题构成在主体心理层面的自我认同挑战,进而对患者的心理健

康造成困扰。

(四) 脑机接口引发相关的技术公平性争议

医疗技术的发展最终需要回归到现实的人,单纯的技术革新并不具有现实意义,只有落实到现实的人才能够发挥出技术本身具有的魅力。对医疗技术而言,技术的快速发展离不开现实的应用与改良,同时也需要关注到技术引发的相关公平性的争议,这种公平性既包括具身层面的算法偏见争议,也包括社会层面的人类增强争议。

1. 脑机接口技术带来的算法偏见探讨

“平等是人在实践领域中对他自身的意识”^[11],同样地,这种平等意识也会延伸至与他人之间的关系,预设自身与他人之间是具有人格层面的平等关系。脑机接口的出现,使人格公平性受到算法预设的影响。算法预设是指脑机接口在深度学习前,已经在电极中植入的初始算法,这种算法会引导使用主体适应人机共生的新环境,但同时也会出现算法偏见问题。脑机接口的深度学习既在适应人类,也在改变人类,算法训练需要依靠大数据模型进行强化,但这些预设的大数据模型的采样并非完全与目标主体具有一致的习惯、爱好,这就会导致在深度学习的过程中,本应由人类自身决定的意志却转向由算法进行解码与控制,让人类跟随算法的逻辑生活。在这种情况下,主体原本应具有的行为和决策模式都跟随算法而产生偏离,进而形成遵循算法建构的行为范式,对人类所面对的技术公平产生了更高层次的挑战。

2. 脑机接口技术从人体修复性向人体增强性的转化存在争议

从脑机接口的应用场域来看,其在神经系统疾病的治疗上能够产生良好的效果,体现出脑机接口技术对人类的修复性特征。但这也会引发一种新的思考,即脑机接口技术的应用是否会突破疾病治疗的框架,让人的自然属性被机器属性所渗透,产生出“赛博人”的新形态^[24]。这种改变人体生理结构的技术加持会对人类产生新形式的异化,让脑机接口技术从人体修复性转向人体增强性。具体来说,即是运用脑机接口技术对人体的机能进行强化,在相关功能上超越人类本应具有的极限,从而达到人类本不应具有的身体能力,从而打破自然人之间平等的状态,形成事实上的非公平性争议。

三、应对脑机接口技术医学应用 伦理问题的实践路径

马克思曾指出,“全部社会生活在本质上是实践的”^[11],因而解决社会中存在的问题也需要通过实践的方法。在医学领域存在的脑机接口伦理问

题,不只需要医学层面的技术保障,更需要通过外部合力,提升脑机接口技术在医学领域的合理及高效使用,通过构建伦理原则、厘清责任归属、提升公众认可及增强技术优化等路径,实现对脑机接口医学伦理问题的合理解决。

(一) 构建解决脑机接口技术隐私风险的伦理原则

比彻姆、丘卓斯等在应用伦理学发展初期提出“不伤害、有利、公正、自主性”的四大伦理原则,在生命伦理领域具有广泛的应用前景,因而成为生命医学伦理领域的价值基准^[25]。脑机接口技术在运用中产生了隐私问题与自主性问题,这些问题的解决需要构建针对性的伦理原则,作为回应伦理挑战的必要之举。

1. 不伤害原则

英国伦理学家约翰·密尔认为,“不伤害他人是每个人的义务”^[26],纵然这一伦理观点的提出是在19世纪,但当前脑机接口技术所面临的伦理挑战依然适用于这一观点。从前述脑机接口技术造成的潜在身心伤害风险来看,在脑机接口技术的运用中,构建“不伤害原则”是必要之举,要求脑机接口技术的研发与医疗团队在技术应用的各环节中,减少技术应用带来的身体伤害和心理创伤风险,从而以小的身心创伤代价取得疾病治疗的最佳效果。

2. 有利原则

所谓有利原则,是从不伤害原则引申而来的一种积极的态度,这一原则以患者最佳利益为导向,推动技术优化升级,不仅追求疾病治疗效果,还注重提升患者生活质量和社会融入度。脑机接口技术在医学领域的运用初衷就是治疗传统手段无法治愈的疾病,以及提升患者的生活质量,因此可以说,有利原则是与脑机接口技术的初衷相吻合的伦理原则。构建有利原则,能够进一步明确技术发展为患者带来的优势,特别是对患者而言,通过脑机接口的伦理原则,能够直观预后的效果。

3. 公正原则

所谓公正,在西方哲学中被认为是公平、合理、正义的措施。约翰·罗尔斯(John Rawls)在讨论公正(正义)问题时,提出“程序正义”,即社会基本原则的提出应经过一种检验的程序。现实来看,程序正义在实践中往往会被认为是烦琐冗余的举措,但从医疗层面上看,必要的程序正义有利于实现责任的清晰划分。而在脑机接口技术下的公正原则,应倡导涵盖政策制定和资源分配等不同层面的保障细则,让不同地区、不同阶层的群体平等地享受脑机接口技术带来的医疗福利。同时,这一原则的构建还可以清晰划分各主体之间的应尽责任,避免在“灰色地带”出现踢皮球的问题。

4. 自主性原则

尊重自主性是医学伦理学的基本原则^[27],一切治疗都需要患者充分知情并自愿参与,这种尊重人的自主性的原则又被称为“同意原则”。罗伯特·诺齐克在阐述“同意原则”时认为,“没有他们的同意,他们不能被牺牲或被用来达到其他的目的”^[28]。脑机接口技术的应用需要遵循“同意原则”,即在脑机接口治疗时,需要确保患者充分知晓技术的优势和短板,并承诺自愿参与脑机接口治疗,在疗程中全程保障患者对脑机接口技术使用的决策权,包括当可能出现潜在问题或危险时,患者保留随时退出治疗的权利。这一原则能够保障人的自主性,在“心身同构”下发挥人的主观能动作用。

(二)通过技术监管与相关规制厘清责任归属

应对脑机接口技术应用的伦理挑战,既需要技术层面的优化提升,也需要非技术领域的监管规制。2024年2月,国家出台《脑机接口研究伦理指引》,但这一文件只是从宏观层面进行概述和指引,而现实操作需要进一步细化落实,通过监管机构与法律法规进一步限制可能发生争议的伦理问题。

1. 完善脑机接口技术的伦理审查制度

学界对脑机接口技术的伦理审查制度高度关注,不少学者都认为脑机接口技术的伦理审查机制仍需完善^[29]。近年来,医学领域的伦理事件层出不穷,例如,在中国发生的基因编辑婴儿事件成为伦理层面的挑战,如何实现脑机接口合伦理性的运用,避免诸如基因编辑事件的再次发生,需要完善脑机接口的伦理审查制度。如成立专门的监管机构,负责审核脑机接口技术的临床试验、上市审批,以及全程监督医疗应用过程,确保脑机接口的临床运用符合伦理规范,建立符合脑机接口上游基础研究、中游临床试验和下游临床应用的伦理审查评估机制^[30],实现脑机接口技术的合理性发展。

2. 健全脑机接口领域的法律法规体系

“实践是法律的基础,法律要随着实践发展而发展。”^[31]以法律法规明确科技发展合法合规方向,明晰脑机接口技术的责任主体认定,明确各方在技术研发、应用、维护中的权利义务;细化责任认定标准与赔偿机制,提升相关领域立法的前瞻性和科学性;增强执法司法的务实性与实效性,在《脑机接口研究伦理指引》的基础上,构建中观和微观的规制体系,减少法律法规层面的空白区域。

(三)引导社会各方主体提升对脑机接口技术的心理认知水平

技术的发展不是为了创新而创新,新兴技术的出现必然要应用于现实社会之中,才能发挥技术应有的作用,不能让技术成为“无因之果”。针对脑机接口技术在医学运用中对主体潜在的心理影响,需

要将对脑机接口技术的认识提前到社会层面,使社会公众形成对这一技术应用的广泛认同,引导人们在对技术认知的基础上,实现自我认知,进而达到自我认同。在实现技术突破的同时,提升脑机接口使用主体的心理建设水平。

1. 提升脑机接口使用主体的心理建设能力

脑机接口技术从“科幻”走向“现实”,其直接受益者为患者自身,因此,提升神经系统疾病患者对脑机接口技术的心理接受能力,成为减轻患者心理负担的重要举措。一方面,提升主体对脑机接口工作机制的了解,明确脑机接口所具有的辅助技术地位,而非越界代替人做出决策,减轻使用主体的心理压力;另一方面,形成对脑机接口技术的认同氛围,而非对新技术的抵制,通过科学普及、现实引导等方式,提升患者对脑机接口技术的接受能力,强化患者的心理建设能力。

2. 开展多领域人员的相关伦理培训

脑机接口在医学领域的应用主体除医疗工作者和患者外,工程师、患者家属以及相关医护人员都需要参与其中,不可否认的是,这一类参与者在脑机接口领域或医学领域的认知程度可能不高。因此,需要针对医学、工程学、神经科学等多领域专业人员,开展脑机接口技术伦理课程教育,培养其伦理敏感度与决策能力,从而在脑机接口的临床运用中,及时发现问题,减少治疗中的干扰因素,提升相关方对脑机接口技术的了解度,让患者得到及时、有效、高效的治疗,避免出现因了解程度不够引发的时间滞留,从而错失最佳治疗时机。

(四)通过技术优化提升脑机接口技术的保障水平

恩格斯曾指出,“社会一旦有技术上的需要,这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进”^[32]。技术提升是保障脑机接口技术平稳运行的重要一环,换言之,技术的迭代与发展是保障脑机接口技术平稳运行的核心。在临床使用中,需要确保脑机接口的数据安全以及整个脑机接口系统的平稳可靠,从而实现脑机接口技术在医学领域的高效运用。

1. 强化脑机接口技术的数据安全性

数据安全成为信息时代新的安全领域,具有动态性、系统性、隐私性等特点,信息技术的快速发展让数据安全呈现出新形式。脑机接口技术的数据包含着人类大脑的一般性数据和主体自身的个性化数据,这种数据的泄露会引起个人隐私和生物信息的安全挑战,从而引发范围更加广泛的伦理危机。因此,在脑机接口的医疗使用中,需要严格控制数据采集以及使用者的范围,对技术自身而言,需要采用加密算法、匿名化处理、严格访问权限控制等手段,提升数据的安全性,保护患者大脑数据

隐私和个人的数据安全,通过数据的安全稳定确保技术使用的公平性。

2. 提升脑机接口系统的整体可靠性

脑机接口不只是体内的电极植入,还有外部设备的规范使用,只有电极与外部设备的协同配合,才能够实现系统的整体可靠性。在临床应用中,可靠性和持续性是判断脑机接口的重要指标。因此,提升脑机接口系统的整体可靠性,一方面从源头出发,规范脑机接口设备生产标准,加强植入电极和外部设备的质量检测,保障技术运转的硬件可靠;另一方面从过程出发,优化脑机接口算法稳定性,通过算法模拟测试、临床试验以及深度学习的多重验证,降低“算法失灵”的故障概率。

四、结语

第四次工业革命的浪潮伴随着数字技术的快速发展奔涌而来,医疗尖端技术的发展同样与数字时代相伴前行,脑机接口技术的快速发展与应用为人类提供了神经系统疾病治愈的可能性,也让神经系统疾病患者看到提升生命质量的曙光。从伦理层面上看,脑机接口在医疗领域的应用带来了隐私、责任、伤害、公平等核心伦理问题,并且这些问题之间并非互相独立,而是相互交织、错综复杂,贯穿于脑机接口技术发展的全过程。只有构建相应的伦理原则,并在原则指导下通过技术与非技术的手段协同作用,才能够化解伦理困境,推动技术良性发展。面向未来,脑机接口技术的发展依然具有广阔的空间,其在伦理层面的问题探讨也会更加深入,从而能够让新技术更好服务人类社会,实现科技与人文合理性的新发展。

参考文献

- [1] 王珂,王雷,李文彬,等. 脑机接口技术在脑卒中患者下肢功能康复中的应用前景[J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(14): 3027-3033
- [2] 邹贵娣,陈小凯,谭卉虹,等. 脑机接口结合外骨骼机器手对脑梗死患者手功能障碍的闭环康复效果[J]. 实用医学杂志, 2024, 40(17): 2395-2400
- [3] 李筱永,任静,吴俊明. 医疗脑机接口技术的法律规制[J]. 残疾人研究, 2024(2): 55-63
- [4] 张曼. 脑隐私法律保护的制度建构[J]. 东方法学, 2023(5): 128-139
- [5] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯全集: 第25卷[M]. 北京: 人民出版社, 2001: 592
- [6] HERFF C, KRUSIENSKI D J, KUBBEN P. The potential of stereotactic-EEG for brain-computer interfaces: current progress and future directions[J]. Front Neurosci, 2020, 14: 123
- [7] HE Q H, YANG Y, GE P C, et al. The brain nebula: minimally invasive brain-computer interface by endovascular neural recording and stimulation[J]. J Neurointerv Surg, 2024, 16(12): 1237-1243
- [8] NEUMANN W J, GILRON R, LITTLE S, et al. Adaptive deep brain stimulation: from experimental evidence toward practical implementation[J]. Mov Disord, 2023, 38(6): 937-948
- [9] 胡峰,舒凯,雷霆. 神经外科与脑机接口——现状及展望[J]. 临床外科杂志, 2024, 32(10): 1009-1012
- [10] 刘菱,郑胜杰,窦汇溪,等. 植入式脑机接口在医疗与科研中的作用与应用[J]. 合成生物学, 2023, 4(2): 407-417
- [11] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯文集: 第1卷[M]. 北京: 人民出版社, 2009: 37-162, 264, 501
- [12] TANG J, LEBEL A, JAIN S, et al. Semantic reconstruction of continuous language from non-invasive brain recordings[J]. Nat Neurosci, 2023, 26(5): 858-866
- [13] 张曼. 人机共生: 脑芯片的监管挑战和三维建构[J]. 东北师大学报(哲学社会科学版), 2025(2): 116-125
- [14] 张志领,王高峰. 脑机接口能动性的伦理挑战——基于道德运气的视角[J]. 自然辩证法研究, 2024, 40(1): 80-86
- [15] 梅春英. 患者近亲属代为行使知情同意权的困境与可能出路[J]. 南京医科大学学报(社会科学版), 2025, 25(3): 267-271
- [16] VANSTEENSEL M J, KLEIN E, VAN THIEL G, et al. Towards clinical application of implantable brain-computer interfaces for people with late-stage ALS: medical and ethical considerations[J]. J Neurol, 2023, 270(3): 1323-1336
- [17] BILLAUER B P. The bionic plaintiff and the cyborg defendant: liability in the age of brain-to-computer interface[J]. SSRN Journal, 2021(25): 38-111
- [18] D'ALOIA A, ERRIGO M C. Neuroscience and law: complicated crossings and new perspectives[M]. Gewerbestrasse: Springer Nature Switzerland AG, 2020: 359
- [19] 肖峰. 从技术伦理到脑机接口伦理[J]. 自然辩证法研究, 2023, 39(8): 63-68
- [20] 黄辉. 法治评估的范畴: 内涵、价值和类型[J]. 江西社会科学, 2018, 38(4): 169-176
- [21] 罗会宇,马永慧. 人脑类器官研究和应用的伦理与治理[J]. 科学学研究, 2025, 43(6): 1302-1310
- [22] 斯宾诺莎. 伦理学[M]. 2版. 贺麟,译. 北京: 商务印书馆, 1983: 100
- [23] 王玉樑. 论主体性的基本内涵与特点[J]. 天府新论,

- 1995(6):34-38
- [24] 武文凯,张建云.脑机接口赋能人类发展的哲学反思[J].河南社会科学,2025,33(7):109-115
- [25] 甘绍平.应用伦理学中的原则伦理[J].上海师范大学学报(哲学社会科学版),2024,53(2):40-55
- [26] 刘琼豪.密尔对功利原则的道德哲学辩护[M].北京:中国社会科学出版社,2014:184
- [27] 杨雨,王国豫.植入式脑机接口论域下的“同一性危机”与伦理争议[J].哲学动态,2024(4):80-89,129
- [28] 罗伯特·诺奇克.无政府、国家和乌托邦[M].姚大志,译.北京:中国社会科学出版社,2008:37
- [29] 赵继宗.脑机接口:拓展人脑疆界的革命性技术与神经外科学的未来[J].协和医学杂志,2025,16(2):269-276
- [30] 陈龙.脑机接口的伦理问题思考[J].科技与法律(中英文),2025(2):75-82,92
- [31] 习近平.习近平谈治国理政[M].北京:外文出版社,2014:144
- [32] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局.马克思恩格斯选集:第3卷[M].3版.北京:人民出版社,2012:648

(本文编辑:姜 鑫)

Ethical challenges and response paths of brain-computer interface technology application in the medical field

XIE Zongwang

School of Marxism, Hohai University, Nanjing 211100, China

Abstract: As a vital part of human enhancement technology, brain - computer interface technology demonstrates widespread applicability in the medical field, especially in the treatment and rehabilitation of neurological disorders, which has significant advantages over traditional therapies. Concurrently, the application of brain-computer interface technology in the medical field brings ethical challenges. First, it raises privacy-related issues and compromises human autonomy. Second, it creates difficulty in attributing responsibility to relevant parties and laws. Third, it causes potential psychological impacts on users. Fourth, it raises controversies regarding technical fairness caused by the brain-computer interface. To address these ethical problems arising from the brain-computer interface at the medical level, this study recommends the following strategies. First, it is essential to establish ethical principles that are specifically targeted to the privacy risks of brain - computer interface technology. Second, it is crucial to clarify the attribution of relevant responsibilities through both technical governance and non-technical governance. Third, it is vital to raise awareness and understanding of brain - computer interface technology among all parties. Fourth, it is recommended to resolve the dispute concerning technical fairness through technical optimization. In the medical application of brain-computer interface technology, the goal of using technology for good should always serve as the fundamental guiding principle.

Key words: brain-computer interface technology; medicine; ethical challenges; ethical principles; response path