

# 脑机接口教育应用：原理、潜能与障碍

刘新玉<sup>1,2</sup> 王东云<sup>1</sup> 师丽<sup>2,3</sup>

(1. 黄淮学院 智能制造学院, 河南驻马店 463000; 2. 郑州大学 河南省脑科学与脑机接口技术重点实验室, 河南郑州 450001; 3. 清华大学 自动化系, 北京 100084)

**[摘要]** 脑机接口教育应用目前仍处于非主流地位,其理论基础、技术设备、制度保障等依然存在诸多障碍。本研究从技术原理、应用潜能和应用障碍三方面阐述了脑机接口技术教育应用的优势和不足。线上教学为脑机接口教育应用提供了新的机遇,但脑机接口技术对于主流教学方式的改变有限。如果两者能有机融合、优势互补,将有助于提高学生学习的积极性和学习效率,这可能也是脑机接口等非主流技术在后疫情时代的生存之路。

**[关键词]** 脑机接口; 教育; 非主流技术; 新冠疫情

**[中图分类号]** G420

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1007-2179(2023)01-0018-08

## 一、引言

作为智慧教学技术的典型代表,脑机接口(Brain-Computer Interface, BCI)的教育应用伴随着线上教学而快速发展。正确应用脑机接口的感知交互优势,可弥补线上教学交互和监督的不足,丰富学习认知规律探索手段,提升以学生为中心的个性化实践能力。但是从技术发展历程看,脑机接口的教育应用相对迟缓,应用认知还不乐观,应用潜能并不明朗,应用障碍仍需清除。

作为一种新型的智能交互装置,目前脑机接口教育应用研究较多关注提升专注力的神经反馈训练,即将大脑内部的认知状态量化后转换为感知系统可以感知的信号,如声音、灯光、图像等。使用

者通过调节感知信号的强度,改善大脑专注度。德贝当古等(DeBettencourt et al., 2015)利用脑机接口技术训练大学生神经反馈,通过调节任务难度提醒受试者即将发生的失误,有效改善了受试者的行为表现。

也有研究利用脑机接口监督学习状态,包括学习风格判别、情感识别、专注度监测等。课堂使用脑控游戏可以有效减少学生的学习焦虑(Verkijika et al., 2015),利用脑机接口监测学生注意力也可大幅提高学生认知水平(Katona et al., 2016)。长期的跟踪监测结果表明,脑机接口在提高学生学习成绩和注意力、改善学习态度和自我效能感等方面都展现出较好的性能(胡航等, 2019),对教师改进教学策略也有帮助(王朋利等, 2020)。

大脑神经连接是学习的物质基础,师生交互是

**[收稿日期]** 2022-11-18

**[修回日期]** 2022-12-15

**[DOI 编码]** 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2023.01.002

**[基金项目]** 河南省高等教育教学改革研究与实践项目“基于 EIP-CDIO 工程教育的电子信息硕士新工程师人才培养改革与实践”(2021SJGLX251Y);河南省研究生教育改革与质量提升工程项目“控制工程实践”(YJS2022AL142);黄淮学院教育教学改革研究青年项目“脑科学视角下课堂教学模式改革的研究与实践”(2018XJGLX0306)。

**[作者简介]** 刘新玉,博士,副教授,黄淮学院智能制造学院,研究方向:脑机交互(liuxinyu@huanghuai.edu.cn);王东云,博士,教授,黄淮学院副院长,研究方向:智能控制技术(wangdongyun@huanghuai.edu.cn);师丽,博士,教授,清华大学自动化系,研究方向:脑机接口与应用(shilits@tsinghua.edu.cn)。

**[引用信息]** 刘新玉,王东云,师丽(2023). 脑机接口教育应用:原理、潜能与障碍[J]. 开放教育研究,29(1): 18-25.

获得知识的主要途径。线上教学为脑机接口教育应用提供了机遇,但如何利用脑机接口技术弥补短线上教学监督和交互的缺失,存在怎样的教育教学应用潜能以及实践应用存在哪些障碍仍有待探究。

### 二、技术原理

脑机接口,指通过在大脑内部神经活动与外部控制设备之间建立直接连接通路,实现脑与机之间信息交互与功能整合的新一代智能交互技术(Nijholt et al., 2022)。脑机接口由三部分组成:脑、机和接口(见图1)。“脑”即大脑,更多地指大脑神经活动信号,如头皮脑电、皮质脑电、局部场电位等;“机”即机器,一般指计算机、轮椅、假肢、家居等人类能够控制的设备;“接口”即利用机器学习或模式识别算法将神经活动信号转换为机器能够识别的控制信号,实现大脑和机器的连接。脑机接口重在接口,它为从外部定量地了解大脑内部状态或意图变化提供了可能(刘新玉等, 2021)。脑机接口技术实现主要由信号采集与处理、特征提

取与解码、量化转换与应用三部分组成。

#### (一)信号采集与处理

大脑思维活动依赖于神经元之间的连接和信息交互,神经元在信息传递中会在其细胞表面发生微弱的电位变化。人们通过记录电位的连续变化(即电信号)感知大脑活动。1924年,德国精神病学家伯格首次记录了头皮脑电信号,开辟了利用脑电信号解读大脑活动的新纪元(Lebedev et al., 2006)。脑电信号采集主要包括植入式和非植入式方式:植入式一般需要将电极植入头皮内部,采集到的信号分辨率和质量较高,但植入难度和风险大;非植入式指将检测设备置于头皮或头皮外部,采集简单,但信号分辨率较低,质量较差。

植入式采集方式主要包括表征单个神经元电信号的单单元活动(SUA)、表征神经元集群信号的多单元活动(MUA)、局部场电位(LFP)和表征大脑皮层表面电信号的皮质脑电(ECoG);非植入式采集方式主要包括表征头皮电信号的头皮脑电(EEG)、表征大脑活动时氧合血红蛋白和脱氧血红

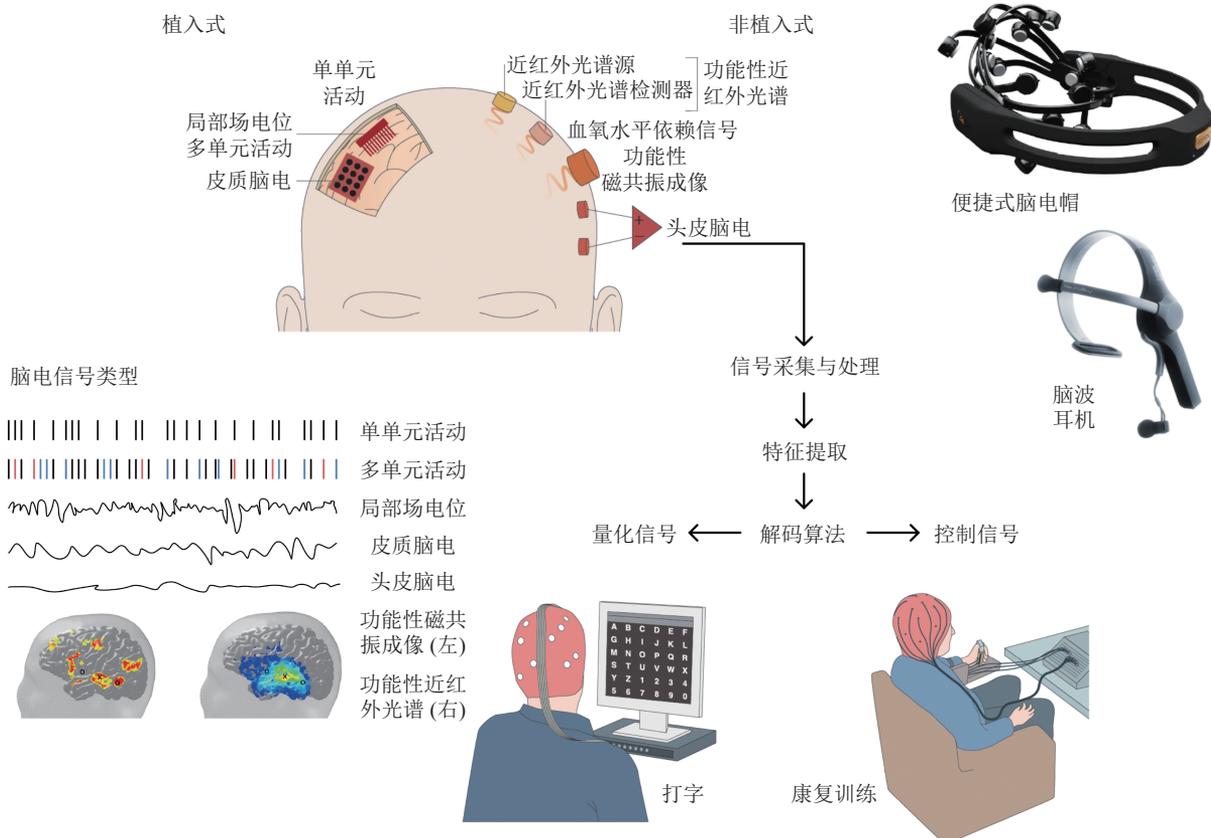


图1 脑机接口技术原理

蛋白变化的功能性近红外光谱(NIRS)和表征神经元活动引发血液动力变化的功能性磁共振成像(fMRI)。植入式采集方式主要适合动物实验和临床使用,其中功能性近红外光谱和功能性磁共振成像采集要求较高、价格昂贵。教育领域采用以头皮脑电为基础的非植入采集方式。

### (二)特征提取与解码

如何从采集到的头皮脑电中提取与大脑内部认知状态相关的响应特征,对于脑机接口的教育应用十分重要。在机器学习或模式识别中,特征提取指从初始测量数据中获得信息和非冗余的派生值,用于促进后续数据的学习和泛化,提高数据的可解释性。头皮脑电常用的特征提取算法包括功能网络、主成分分析、小波变换等(徐畅等, 2021),提取可以表征大脑内部认知活动的低维特征,如注意力、专注度、疲劳度等。

解码指在特征提取的基础上,利用特定方法将特征还原成所代表的内容或转换成所代表的信息,主要分连续解码和离散解码(Chaudhary et al., 2016)。举例来说,假如你想象字母 A,解码就是利用你想象字母 A 时采集到的头皮脑电还原出字母 A。解码模型的实际应用主要由训练和预测组成。训练即模型训练,指将提取的头皮脑电特征与解码对象对应起来;预测指利用训练好的模型从新提取的头皮脑电特征中预测解码对象。脑机接口在不同场景的应用,解码对象是不同的,需要根据实际应用场景构建合适的解码模型。

### (三)量化转换与应用

量化转换指根据被控对象的要求将解码出的信息或数据转换成计算机或机器可以识别的信号,比如轮椅控制需要将解码出的大脑运动意图转换成轮椅的控制指令;专注度预测指将大脑认知状态量化成具体数值。量化转换与应用紧密结合,应用场景不同,量化转换的目的也不同。在教育应用领域,脑机接口在替代或恢复身体丧失的机能、扩展对外部设备的控制、增强和改善大脑认知能力、监测大脑内部状态等方面都有出色的表现,应用潜力巨大(Li et al., 2020)。

## 三、教育应用潜能

线上教育的发展为脑机接口提供了机遇。尽

管目前还存在诸多技术局限,但是作为最成熟的脑科学技术,脑机接口应用前景可期。脑机接口教育应用主要有两个方向:一是在学习活动中,通过脑机接口识别学生生理状态特征,引导学生在教师帮助下纠正(或自我纠正)问题,着重于调整学生学习状态或认知活动;二是在教学活动中,通过脑机接口实时监测学生的认知活动,以确定最优参数和条件,着重于调整教师讲授的内容和方法。

### (一)预测学习效果

从大脑认知的角度看,学习是大脑获取外部信息并与大脑内部原有信息加工整合形成新的有意义信息的过程。大脑将新形成的信息以神经连接或神经网络的形式储存,形成长期记忆,达到有效学习的目的。这个过程既包含信息加工又包含信息存储,信息加工和存储必然引起头皮脑电的改变。因此,利用脑机接口技术量化描述这种头皮脑电的改变,可以达到预测学习效果的目的(张静娜等, 2022)。根据预测结果,学生能够纠正学习方法,教师可以改进教学方法,从而实现“教”和“学”的交互融合,提高学习效果。

尼尔豪斯等(Nierhaus et al., 2021)分析了此前没有接触过脑机接口的被试接受两种不同类型脑机接口任务训练后大脑结构和功能的变化。实验分两组:一组接受运动想象脑机接口任务训练(简称运动想象任务)。受试者需想象他们正在移动手或脚;另一组接受视觉诱发电位脑机接口任务训练(简称视觉诱发电位任务),受试者需识别并选择屏幕上的字母。经过一个小时训练,研究者利用磁共振断层扫描仪检测被试训练前后大脑功能和结构的变化。结果显示,接受短暂的脑机接口任务训练后,无论是运动想象任务还是视觉诱发电位任务,大脑对应区域都发生了明显变化。这表明,脑机接口技术在预测大脑学习效果方面潜力较大。

### (二)培养自控能力

自控能力指个体控制情绪和约束言行的能力。青少年的大脑处于快速发育期,学习自制力、积极性和主动性不高。脑机接口对自控能力的培养可谓优势明显、效果显著。比如,学生课余时间利用基于脑机接口技术开发的脑控蜘蛛、脑控赛车、脑控游戏机等融合娱乐元素的脑控产品训练大脑专注力,可培养自控能力(Nijholt et al., 2022)。此外,

学生也可以利用神经反馈训练技术,根据自己的特点有意识地训练和加强自控能力。

黄炜琛等(Huang et al., 2021)利用实时神经反馈脑机接口训练系统,在受试者接受情绪调节训练时利用机器学习实时分析其脑电信号,预测其情绪状态(积极、消极或中性),并将预测结果显示在屏幕上,且告知受试者据此更新情绪调节策略。20名受试者进行了10次脑机接口神经反馈训练后,情绪调节能力显著提升,与情绪状态关联的脑电编码模式通过长期训练也得到增强。

### (三)识别学习风格

不同个体的基因、环境、习惯等差异会造成大脑发育不同,形成不同的思维方式。有些人可能理性思维强,适合学习需要较强逻辑、推理和分析能力的理科课程;有些人可能偏感性思维,更适合学习需要较强情感、想象和创意能力的文科课程。思维方式的不同会导致学习风格的差异,利用脑机接口技术可以科学和精准地判断这种差异。利用脑机接口识别学习风格不仅可以为学生的文理分科选择提供依据,也可以帮助教师将教学风格和学生的学习风格进行匹配以改进教学策略,提高学生的学习积极性和学习效果。已有研究表明,教师教学风格和学生学习风格的匹配有助于提高课堂教学效果(Naimie et al., 2010),且主动适应教师教学风格的学生学习成绩更优异(Leng et al., 2020)。

王朋利等(2020)利用脑机接口技术获取广州市某小学四至六年级240名学生的注意力特征,搭建了基于支持向量机算法的学习风格识别模型。该模型可以识别视觉型、听觉型、读写型和动觉型等学习风格的学生,平均正确率为75.8%,单次最高识别正确率83.3%,识别结果与瓦克知觉学习风格量表的识别结果具有较高一致性。研究者依据上述学习风格对学生进行智能分班,并根据风格偏好设计教学内容和实施教学策略,学生学习效果得到显著提升。

### (四)监测学习状态

学习状态是注意力、专注度、疲劳程度等的综合表现,对课堂教学效果至关重要。在学生最佳学习状态讲授最重要的知识已成为教师教学的共识。检测学生学习状态,不仅可以及时发现上课状态较差的学生,还可以监控学生整体上课情况,适时变

换教学模式,提高学习效果。卡托纳等(Katona et al., 2016)利用脑机接口技术开发了平均注意力测量系统,对改善上课期间学生的学习状态有较大帮助。柯清超等(2019)通过脑机接口技术采集学生读写过程中的注意力变化,发现注意力变化可用于推测学生的学习类型,继而用于因材施教。

胡航等(2019)借助意念耳机设备(MindSet),设计和开发了一套针对英语听力的学习系统,即利用脑电信号估测学生专注度值,监测和调节学生注意力变化。实验组和对照组学习同一内容,需回答的问题也一样。不同之处是实验组学生利用意念耳机设备监测专注度值,根据专注度值确定是学习还是回答问题;对照组学生可在任意时间暂停学习,回答问题。对某大学100名大一新生持续1个月的实验研究发现,实验组学生的学业成绩、学习态度和自我效能感等的改善显著优于对照组学生。

### (五)优化学习能力

学习与大脑密切相关。脑机接口技术可以解析大脑对外部信息进行加工和存储时神经元的的信息处理机制,识别神经生理学层面的信息加工模式,然后通过有意识的训练或反向输入帮助学生优化学习能力。在某种意义上,脑机接口的发展可能有助于提升学生学习能力,加快或改善知识在大脑的传输和存储,缩短学习时长。不过,这种依靠现代技术获得的“鲤鱼跃龙门式”的跃升,如果使用不当极有可能只会让少数学生拥有“进化”的条件和资本,违背教育公平政策(刘新玉等, 2021)。

阿克蒂尔克等(Aktürk et al., 2022)利用脑机接口技术对46名年轻人记忆任务时的大脑进行经颅交流电刺激(tACS),发现受试者接受刺激后大脑记忆容量显著增大,且增大效应可以保持较长时间,远超过经颅交流电刺激时间;莱因哈特等(Reinhart et al., 2019)发现经颅交流电刺激有助于逆转大脑记忆老化,恢复老年人工作记忆。利用经颅交流电刺激老年人(60—76岁)大脑,可以使老年人的图像识别记忆任务完成时间和准确率达到年轻人(20—29岁)水平。利用脑机接口技术改善大脑认知水平在面向卒中患者、健康被试及儿童等的实验中也得到了证实(Wegemer et al., 2019)。

### (六)评价教学质量

教学质量评价因缺乏科学有效的方法,一直被

人诟病。现有评教办法一般基于学生评分,人为操纵空间大,且学生如果不认真对待,很难反映真实的教学效果。脑机接口技术客观、个性化的特点,能够为教学质量评价提供新的解决思路。利用脑机接口技术开展教学质量评价有两条途径:一是将每堂课学生的专注时长、学习状态等信息算作分值,期末将总分值作为教师的评教成绩,让教学评价贯穿于教学全过程;二是检测学生的大脑状态,剔除没有认真对待评教学生的评分,提高教学评价的可信度。

#### (七)评估在线教育

新冠疫情的持续蔓延使在线教育应用广泛。与传统学习方式相比,在线教育更加灵活、开放和适应性强,任何人在任何时间和任何地点都可自由学习。但是,在线教育的多元化和学习工具的多样性,使在线教育学习效果的评估缺乏有效手段。在线教育的特点是以学生为中心的个性化、分散学习,且拥有相对独立、封闭的学习空间,这为基于脑机接口的在线教育评估提供了便利。教师可以利用脑机接口设备全程监控学生学习过程的大脑状态,通过量化大脑学习状态数据评估不同在线教育工具的教学效果。

贾米勒等(Jamil et al., 2022)设计了线上教学脑机接口应用范例。该研究假设师生坐在不同房间使用在线教学工具,并佩戴脑机接口设备。学生也可佩戴其他辅助设备,如使用眼动仪监视注视区域。上课过程中,研究者同时采集老师和学生的头皮电信号,监控学生上课状态,如专注度、疲劳度等。上课状态的监控不仅能够帮助学生快速调节自我状态,也可以让老师监测学生的参与度,评估学生学习效果。

#### (八)辅助特殊教育

特殊教育指运用特殊的方法、设备和措施教育特殊对象,狭义地讲,指针对视力障碍、听力障碍、弱智儿童及问题儿童等开展教育。无论是身体功能缺失还是心理功能障碍,脑机接口在功能替代、恢复、增强、补充、改善等方面都是特殊教育的福音。比如,脑控打字、脑控翻书、脑控轮椅、智能假肢、人工耳蜗等技术可以延展身体机能、提高残障学生的自理能力(Mehmood et al., 2017)。2019年第三届中国脑机接口比赛中,天津大学学

生创造了新的脑控打字记录,每分钟输入69个汉字(翟永冠等, 2020),这一速度超过了普通人手打速度。此外,脑机接口的感知交互优势也可以扩展特殊教育群体与外界沟通的方式,提高其沟通能力(徐振国等, 2018)。

## 四、应用障碍

从医疗康复到智能家居,从游戏娱乐到教育科技,脑机接口影响着以智能交互为核心的整个教育领域,但是它走的是非主流路线(魏宁等, 2020),理论基础并不扎实,作用也不明显。脑机接口主要以人为研究对象,但教育涉及太多伦理隐患,极大地限制了其研究和发展(顾心怡等, 2021)。

### (一)突破理论研究

科学和技术密不可分,两者互相联系、互相依赖、互相促进。脑机接口应用实践需要脑科学理论的支持。脑科学与教育的联系十分紧密(Purdy, 2008)。脑机接口教育应用离不开对学习认知和学习行为规律的探究,需要基于对注意力、洞察力、记忆力、创造力、想象力等智力因素的量化描述,以及对学习动机、学习意志力、学习态度等非智力因素的判别。但是,大脑还有大量的未解之谜,人类还难以从头皮脑电及复杂的神经元连接关系中解析出思维活动规律。无论是“从脑到机”还是“从机到脑”,目前依然处于盲人摸象阶段,支撑脑机接口教育应用的脑科学与教育学交叉研究还需深入,主要包括以下方面:

1)信息感知机制解析。感知信息是学习的第一步。知识以信息的形式存在,无论信息以什么介质为载体,都可以概括为光线、声音、触觉、味道、气味五种基本要素,它们经人的五种器官感知后传到大脑以供加工、提炼、识别和存储。解析大脑信息感知机制能为脑机接口教育应用奠定基础。

2)信息传递机理研究。感官获取外部信息后,神经系统负责信息的分类和传递,依据信息来源和类型将其分配给不同的皮层加工。信息感知和传递机理的研究可以促进知识建构,也有助于提升脑机接口的信息提取能力。

3)学习的注意机制。注意机制是为了识别和筛选信息。当外感官获取外部信息并传递给相应皮层后,内感官开始识别这些信息。识别首先需要

利用大脑原有存储的信息检索同类信息,找到与新传入信息尽可能匹配的相关信息,与之比较并赋予意义,从而完成对信息的识别,形成瞬间注意并在大脑建立新的神经连接,实现知识的建构。因此,解析学习注意机制将为优化学习能力奠定理论基础。

4)长期记忆机理研究。记忆就是对信息的存储,学习的目的是将感知到的外界信息以神经连接的形式存储到大脑形成长期记忆,以供人使用时有效提取。长期记忆的形成也代表着学习过程的完成。对长期记忆机理的研究可以加快学习进度、缩短学习时长。目前学界对长期记忆的机理已有初步认识,但是距离实践应用还任重道远。

5)学习行为与认知规律。根据个体学习行为和认知规律授课是提高课堂教学效果的基本共识。深入了解学生的学习行为和认知规律,并据此因材施教,对于实现教学目标至关重要。脑机接口技术的感知交互优势为研究学习行为和认知规律提供了可能,而学习行为和认知规律的研究也可促进脑机接口技术的应用创新。

## (二)优化技术设备

脑机接口技术与设备的成熟度不足是影响其教育应用的主要瓶颈。头皮脑电信号十分微弱(10—20  $\mu\text{V}$ )、成份复杂、易受噪声干扰,稳定可靠高质量的信号检测技术、高效精确专业的特征提取与信息解码算法有待创新和突破。作为一种交叉性技术,脑机接口技术目前面临较大挑战,尤其是拥有神经科学、电子科学、信息科学等背景的复合型行业人才紧缺,主要体现在以下方面:

1)精准脑电检测技术。脑电信号十分微弱,易受噪声干扰,且不同个体最佳采集位点也有差异。如何根据个体差异精准检测出与任务相关的头皮脑电还需深入研究。

2)脑电标准化处理流程。脑电信号具有非高斯、非平稳、非线性的特点,节律成份复杂。处理脑电信号且不说处理流程差异,仅仅是处理时间窗、滤波频带、特征维数等参数差异就会对处理结果产生较大影响(高上凯,2007)。处理参数、处理方法和处理流程的不同会使同一数据的分析结果千差万别。因此,规范脑电标准化处理流程十分重要(蒲江波,2021)。

3)脑电实时解码算法。脑机接口的教育应用

往往需要对大脑认知活动加以实时解码(陈菁菁等,2022)。而实时解码需要面对的是大脑长期连续的工作,在这个过程中大脑不可能一直处于“工作状态”,工作状态的脑电信号或多或少会呈现一定规律,但是“非工作状态”的脑电信号没有固定模式,这会为脑电信息的准确解读带来困难。

4)大脑认知活动的精确量化。学习过程中认知活动包含情感、注意力、专注度、疲劳度等参数,这些参数越精准,脑机接口应用效果就越好(Sitaram et al., 2017)。但是这些参数的量化,既没有标准可以参考,也没有统一的量化区间,不同个体不同试次的结果也会有较大差异。如何精确量化大脑内部活动仍需研究。

5)脑机交互适应学习。在脑机接口运行中,脑电信号经过一系列的处理被转换成相应的指令,再通过命令的执行对外部世界产生影响。为了适应外部世界的变化,大脑必然会通过反馈调整工作模式,致使脑电随之发生改变。如果不能实时更新脑电处理的算法,脑机接口就会因为不能适应大脑的变化而无法正确解读大脑的信息。因此,脑机交互适应学习是突破脑机接口应用的关键。

6)个体自适应参数优化。脑机接口对大脑认知或意图的预测性能依赖于模型的构建,模型参数的训练则有赖于不同个体脑电信号,但是不同个体脑电信号差异较大,甚至同一个体不同时间段的脑电信号也存在较大差异(翟雪松等,2022)。更重要的是,脑电信号处理能采集到的训练集数目十分有限,如何只用少量样本训练性能优异的模型参数,也是脑机接口需要关注的研究方向。

7)便携式普及型脑机接口系统。脑机接口是一类高新技术,目前商业化的脑机接口系统价格普遍昂贵,不易普及使用。如果没有普通群体可以接受的价格成本,很难推广使用。

8)舒适的结构设计。脑机接口技术有效采集到头皮脑电的前提是需要使用者正确佩戴电极帽,但是长期佩戴电极帽并不舒适(任岩等,2019)。市面上已有易于佩戴的电极帽,但质量有待优化。

## (三)健全制度保障

脑机接口以大脑为研究对象,可以读取大脑的意图、情感、偏好、专注力、健康状况等信息(陈丽娜等,2019),且随着技术的成熟,可读取的信息会

越来越多。如果数据得不到保护,会极大地侵犯使用者的隐私。更重要的是,如果信息采集者不主动告知信息采集的内容和目的,使用者很难知道,其知情权将受到侵犯(冯泽华,2022)。此外,脑机接口作为潜在有助于优化个体学习能力的技术,如果不加以干预,极有可能只会让极少数学生拥有快速“进化”的能力,从而成为某种意义上的“优等生”。因此,如何保护作为弱势一方的学生的权利,已迫在眉睫。目前教育领域关于脑机接口的法律法规及约束制度几乎空白(肖峰,2022),完善的制度保障刻不容缓。制定相关法律法规制度,切实保护使用者的隐私和权利,不仅是对脑机接口使用者的保护,也是对开发者的监督。

#### (四)加强科普宣传

尽管国家的重视和资本的青睐使得脑机接口得到了越来越多人的关注,但是脑机接口的普及程度还稍显不足,知道并真正接触过的人还不多。笔者利用微信平台调查大学生群体对脑机接口技术的认知程度(Liu et al., 2022)发现,脑机接口对于大学生而言还比较陌生,接触过的大学生不多,一半以上大学生甚至没有听说过(51.2%),而且无论是接触还是未接触的大学生在潜意识里都认为它可能存在危害,51.1%的大学生明确认为有危害,认为没有危害的仅占4.1%,这表明人们对脑机接口还存在较大误解。让更多的人知道并接受脑机接口这一颠覆性技术是个难题,也是所有新技术面临的共性问题。事实上脑机接口仅仅是个极低电磁辐射的普通电子设备,其危害程度甚至远不及电脑、手机等。人们对未知事物的偏见可以理解,但要消除人们对脑机接口的偏见可能需要付出更多的时间和精力。加强脑机接口技术的宣传普及,让脑机接口技术真正能够走进普通大众的生活,消除大众对脑机接口的误解和猜疑,还任重道远。

总体来看,本文以教育应用为抓手,从技术原理、应用潜能和应用障碍三方面探讨了脑机接口技术的生存之路,以期能够明晰脑机接口教育应用的实践创新方向。与传统的主流教学方式相比,这些非主流技术在后疫情时代将何去何从,还有待观察。

#### [参考文献]

[1] Aktürk, T., de Graaf, T. A., Guntekin, B., Hanoglu, L., & Sack,

A. T.(2022). Enhancing memory capacity by experimentally slowing theta frequency oscillations using combined EEG-tACS[J]. *Scientific Reports*, 12(1): 14199.

[2] Chaudhary, U., Birbaumer, N., & Ramos-Murguialday, A.(2016). Brain-computer interfaces for communication and rehabilitation[J]. *Nature Review Neurology*, 12(9): 513-525.

[3] 陈丽娜,王大洲(2019). 脑机接口负责任创新研究发展[J]. *工程研究-跨学科视野中的工程*, 11(4): 390-399.

[4] 陈菁菁,王非,高小榕,张羽,李卓然,张丹(2022). 教育领域中的脑-机接口应用:动向与挑战[J]. *科技导报*, 40(12): 90-101.

[5] DeBettencourt, M. T., Cohen, J. D., Lee, R. F., Norman, K. A., & Turk-Browne, N. B.(2015). Closed-loop training of attention with real-time brain imaging[J]. *Nature Neuroscience*, 18(3): 470-475.

[6] 冯泽华(2022). 积极防控教育领域应用脑机接口技术的风险[N]. *中国社会科学报*, (5): 1-2.

[7] 高上凯(2007). 浅谈脑-机接口的发展现状与挑战[J]. *中国生物医学工程学报*, 26(6): 801-803.

[8] 顾心怡,陈少峰(2021). 脑机接口的伦理问题研究[J]. *科学技术哲学研究*, 38(4): 79-85.

[9] 胡航,李雅馨,曹一凡,赵秋华,郎启娥(2019). 脑机交互促进学习有效发生的路径及实验研究:基于在线学习系统中的注意力干预分析[J]. *远程教育杂志*, 37(4): 54-63.

[10] Huang, W. C., Wu, W., Lucas, M. V., Huang, H. Y., Wen, Z. F., & Li, Y. Q. (2021). Neurofeedback training with an electroencephalogram-based brain-computer interface enhances emotion regulation[J]. *IEEE Transactions on Affective Computing*. Online.

[11] Jamil, N., Belkacem, A. N., & Lakas, A. (2022). On enhancing students' cognitive abilities in online learning using brain activity and eye movements[J]. *Education and Information Technologies*. Online.

[12] Katona, J., & Kovari, A.(2016). A brain-computer interface project applied in computer engineering[J]. *IEEE Transactions on Education*, 59(4): 319-326.

[13] 柯清超,王朋利(2019). 脑机接口技术教育应用的研究进展[J]. *中国电化教育*, (10): 14-22.

[14] Lebedev, M. A., & Nicolelis, M. A. L.(2006). Brain-machine interfaces: Past, present and future[J]. *Trends in Neurosciences*, 29(9): 536-546.

[15] Leng, N. S., & Luan, N. L.(2020). Learning style and teaching style preferences in a foreign language classroom in malaysia[J]. *Moderna Sprak*, 114(2): 139-160.

[16] Li, X. Y., Chen, F., Jia, Y. H., & Liu, X. Y.(2020). Signal detection, processing and challenges of non-invasive brain-computer interface technology[J]. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 586(2): 60-67.

[17] 刘新玉,王东云,谢行(2021). 课堂教学中脑机接口技术应用瓶颈与前景[J]. *教育生物学杂志*, 9(5): 418-423.

[18] Liu, X. Y., Ping, Y. N., Li, H., & Wang, D. Y.(2022). Brain-computer interface and classroom teaching: Status, bottleneck and prospect[J]. *The Educational Review, USA*, 6(2): 45-55.

[19] Mehmood, R. M., & Lee, H. J.(2017). Towards building a computer aided education system for special students using wearable sensor technologies[J]. *Sensors*, 17(2): 317.

[20] Naimie, Z., Siraj, S., Piaw, C. Y., Shagholi, R., & Abuzaid, R. A.(2010). Do you think your match is made in heaven? Teaching

styles/learning styles match and mismatch revisited[J]. *Innovation and Creativity in Education*, 2(2): 349-353.

[21] Nierhaus, T., Vidaurre, C., Sannelli, C., Mueller, K. R., & Villringer, A. (2021). Immediate brain plasticity after one hour of brain-computer interface (BCI)[J]. *The Journal of Physiology*, 599(9): 2435-2451.

[22] Nijholt, A., Contreras-Vidal, J. L., Jeunet, C., & Valjamae, A. (2022). Editorial: Brain-computer interfaces for non-clinical (home, sports, art, entertainment, education, well-being) applications[J]. *Frontiers in Computer Science*, 4: 860619.

[23] 蒲江波,余云涛,蔺芳,张运红,李婷(2021). 脑机接口标准化进展[J]. *生命科学仪器*, 19(6): 4-13.

[24] Purdy, N. (2008). Neuroscience and education: How best to filter out the neuronsense from our classrooms[J]. *Irish Educational Studies*, 27(3): 197-208.

[25] Reinhart, R. M. G., & Nguyen, J. A. (2019). Working memory revived in older adults by synchronizing rhythmic brain circuits[J]. *Nature Neuroscience*, 22(5): 820-827.

[26] 任岩,安涛,领荣(2019). 脑机接口技术教育应用:现状、趋势与挑战[J]. *现代远距离教育*, (2): 71-78.

[27] Sitaram, R., Ros, T., Stoekel, L., Haller, S., Scharnowski, F., Lewis-Peacock, J., Weiskopf, N., Blefari, M. L., Rana, M., Oblak, E., Birbaumer, N., & Sulzer, J. (2017). Closed-loop brain training: The science of neurofeedback[J]. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(2): 86-100.

[28] Verkijika, S. F., & De-Wet, L. (2015). Using a brain-computer

interface (BCI) in reducing math anxiety: Evidence from South Africa[J]. *Computers and Education*, 81(1): 113-122.

[29] 王朋利,柯清超,张洁琪(2020). 脑机接口的智能化课堂教学应用研究[J]. *开放教育研究*, 26(1): 72-81.

[30] Wegemer, C. (2019). Brain-computer interfaces and education: the state of technology and imperatives for the future[J]. *International Journal of Learning Technology*, 14(2): 141-161.

[31] 魏宁(2020). 脑机接口:人工智能教育应用的非主流路线[J]. *中国信息技术教育*, (1): 16.

[32] 肖峰(2022). 脑机接口技术的伦理难题与应循原则[J]. *中州学刊*, (7): 95-102.

[33] 徐畅,邹德宝(2021). 脑机接口的发展挑战与趋势研判[J]. *人工智能*, (6): 34-39.

[34] 徐振国,陈秋惠,张冠文(2018). 新一代人机交互:自然用户界面的现状、类型与教育应用研究:兼对脑机接口技术的初步展望[J]. *远程教育杂志*, 36(4): 39-48.

[35] 翟雪松,楚肖燕,胡美如,李媛(2022). 从脑机接口到脑脑接口:认知传输与群体协同的教育变革[J]. *远程教育杂志*, 40(3): 24-34.

[36] 翟永冠,宋瑞(2020). “意念”打字成现实[J]. *中国中小企业*, (4): 60-61.

[37] 张静娜,张晔,王倩楠,乔梁,王莉,桑林琼,李鹏岳,邱明国(2022). 基于运动想象的脑-机接口案例教学实验设计[J]. *实验技术与管理*, 39(9): 168-174.

(编辑:魏志慧)

## Application of Brain Computer Interface in Education: Principle, Potential, and Obstacle

LIU Xinyu<sup>1,2</sup>, WANG Dongyun<sup>1</sup> & SHI Li<sup>2,3</sup>

(1. School of Intelligent Manufacturing, Huanghuai University, Zhumadian 463000, China;

2. Henan Key Laboratory of Brain Science and Brain-Computer Interface Technology,

Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. Department of Automation,

Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** *The implementation of brain-computer interfaces (BCI) in the field of education is promoted and facilitated by the increasing popularity of lifelong and personalized learning concepts, as well as the need of effective and affordable automated learning systems. However, the application of BCI, a representative of intelligent teaching technology, is still in a non-mainstream with many obstacles in its theoretical basis, technical equipment, system guarantee, and other associated aspects. This study illustrates the advantages and disadvantages of BCI in the field of education from three aspects of technical principles, application potential, and application obstacles. Although online teaching provides new opportunities for the application of BCI in education, it has limited effects in changing mainstream teaching methods. If the two can be organically integrated and complementary to each other, BCI will be quite beneficial to increasing students' learning enthusiasm and improving learning efficiency. This can be an effective way for non-mainstream technologies such as BCI to survive in the post-epidemic era.*

**Key words:** *brain computer interface; education; non-mainstream technologies; COVID-19*