

# 国外脑电技术的前沿应用综述

陈秋云<sup>1</sup>, 骆婉容<sup>1</sup>, 魏爽<sup>2\*</sup>, 鲁才红<sup>2</sup>

<sup>1</sup>华中科技大学同济医学院护理学院, 湖北 武汉

<sup>2</sup>华中科技大学同济医学院附属协和医院, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年8月14日; 录用日期: 2023年9月8日; 发布日期: 2023年9月18日

## 摘要

脑电技术作为新兴的认知神经工具, 可以将人类大脑的活动以可视化的脑电图的形式翻译出来。本文旨在总结国外各领域采用脑电技术的应用领域特点, 为脑电技术未来的应用方向提供参考。本文系统梳理了2016~2021年间国外各领域中的脑电研究, 分析整理了脑电技术在医学及心理学、神经工程、神经营销学等领域的应用现状。本研究发现脑电技术在医学、脑电接口及神经营销领域的应用中得到了越来越多的应用, 而在信息系统领域的应用仍处于起步阶段。本文对现有的相关研究进行了系统性的梳理和分析, 揭示了国外各领域采用脑电实验的特点及脑电技术的应用领域特点, 拓展了学科边界, 也为今后学术界的进一步研究提供了一个有用的工具。

## 关键词

脑电技术, 脑电图, 实验设计, 文献计量

# A Review of the Frontier Application of EEG Technology Abroad

Qiuyun Chen<sup>1</sup>, Wanrong Luo<sup>1</sup>, Shuang Wei<sup>2\*</sup>, Caihong Lu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Nursing, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>Union Hospital Affiliated to Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei

Received: Aug. 14<sup>th</sup>, 2023; accepted: Sep. 8<sup>th</sup>, 2023; published: Sep. 18<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

As a new cognitive neural tool, electroencephalography (EEG) can translate human brain activities

\*通讯作者。

文章引用: 陈秋云, 骆婉容, 魏爽, 鲁才红. 国外脑电技术的前沿应用综述[J]. 临床医学进展, 2023, 13(9): 14653-14663. DOI: 10.12677/acm.2023.1392049

in the form of visualized EEG. This paper aims to summarize the application characteristics of EEG technology in various foreign fields and provide reference for the future application direction of EEG technology. This paper systematically reviewed the EEG research in various fields abroad from 2016 to 2021, and analyzed and summarized the application status of EEG technology in the fields of medicine, psychology, neuroengineering, neuromarketing, etc. Electroencephalography (EEG) has been applied more and more in the fields of medicine, electroencephalography interface and neuromarketing, while its application in the field of information system is still in its infancy. This paper systematically combs and analyzes the existing relevant researches, reveals the characteristics of EEG experiments in various fields abroad and the characteristics of the application field of EEG technology, expands the discipline boundary, and provides a useful tool for further research in the academic field in the future.

## Keywords

EEG, Electroencephalography, Research Design, Bibliometrics

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

大脑是人类高级行为的基础，其结构由大脑皮层组成，主要分为四个大脑区域：额叶、顶叶、枕叶和颞叶[1]。每个大脑区域都包含大量神经元，执行不同的任务。额叶可被视为思维、情感、计划和需求的重要组成部分[2]。顶叶主要与感觉、数学和逻辑有关[3]。枕叶与视觉信息、语言和运动感知之间存在密切联系[4]。颞叶与记忆和情绪有关[5]。脑电信号的形成主要是皮层突起的大量神经元之间的电位同步所致[6]。

脑电技术可以记录大脑活动的电生理指标，毫秒级的时间分辨率与大脑的信息处理相匹配[7]，能够将大脑的活动以可视化的形式翻译出来[8]。脑电图(EEG)用于研究大脑活动，它记录了神经元产生的突触后电位[9]。它有助于诊断和检测脑部疾病和相关疾病，以及设计更好的治疗方案[10]。随着技术的发展，目前脑电图的使用已经不仅仅局限于医疗目的，还扩展到其他领域，比如：神经工程、神经营销、生物医学工程(如脑机接口[11]、睡眠分析[12]和癫痫检测[13])等。因其具有较高的时间分辨率、非侵入性和相对较低的经济成本[14]，脑电技术受到了越来越多学者的关注。与美国等西方国家相比，我国对脑机接口技术的研究起步较晚，但重视程度不相上下。根据十四五规划和 2035 年的长期发展规划，人工智能和脑科学已成为我国重要的战略性科技实力[15]。

经过多年的发展，脑电技术在各领域的应用越来越广泛。为了建立更加完善的脑电实验方法论，为未来脑电技术的实验研究提供参考，有必要对现有的相关研究进行系统性的梳理和分析。

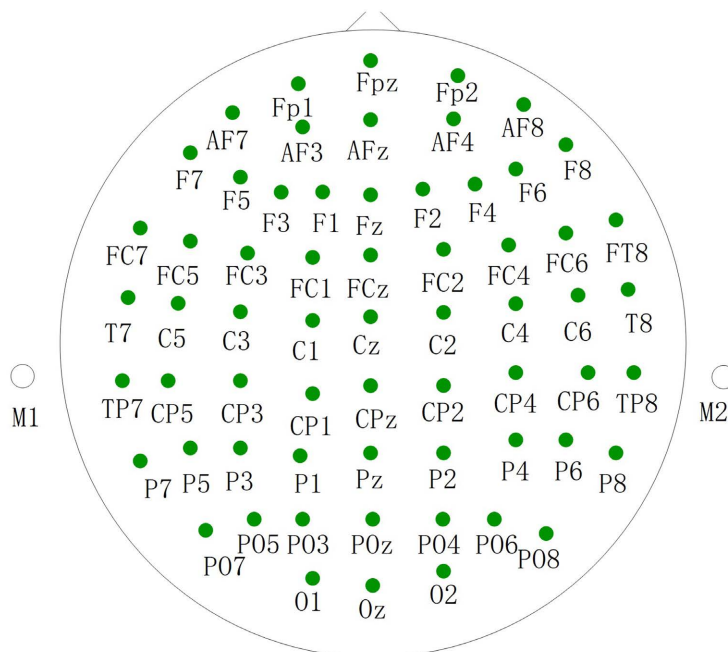
## 2. 脑电技术

脑电图(electroencephalogram, EEG)通常是指在头皮记录的相隔一定距离的脑内神经元群放电活动[16]，主要来源于突触后电位的大量同步放电。其原理是通过放置在脑电帽上的电极进行记录[17]，头皮电位通过导电电极传输到脑电记录仪。自发脑电活动在活体大脑中持续存在，通常通过频率进行分类，从低到高可分为： $\delta$ 波、 $\theta$ 波、 $\alpha$ 波、 $\beta$ 波、 $\gamma$ 波[18]。一个完整的 EEG 实验包括数据收集系统、刺激呈现系统、环境与配置和数据分析系统[19]。一个完整的脑电系统包括放大器、脑电帽、刺激呈现系统、脑

电采集软件、数据分析软件和其他附件[20], 实验环境及导联系统如图 1、图 2 所示。



**Figure 1.** Experimental environment, equipment and subjects  
**图 1.** 实验环境、设备及被试



**Figure 2.** International 10/20 lead system  
**图 2.** 国际 10/20 导联系统

### 3. 研究方法

本研究构建了如图 3 所示的工作流程: 在文献采集阶段, 本研究首先利用关键词“EEG”或“electroencephalogram”在 Google Scholar 搜索得到过去 6 年(2016 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日)的相关论文共 154 篇; 然后采取珠型增长策略进一步获取与这些论文具有各种关联(如引用和共引)的其他论文共 175 篇, 去重后最终采集到 159 篇论文。

在文献筛选阶段，两位研究人员认真阅读了以上 159 篇论文的题目和摘要，并按照以下标准对论文进行了筛选：① 英文论文；② 研究方法主要为实验法；③ 实验过程中利用脑电技术；④ 详细描述了研究方法及眼动实验设计。在此过程中，两位研究人员就任何不同的观点进行了深入的讨论，最终达成了一致的结论。本研究最终定了 122 篇论文作为文献综述对象，这些文献的总体特征见表 1。

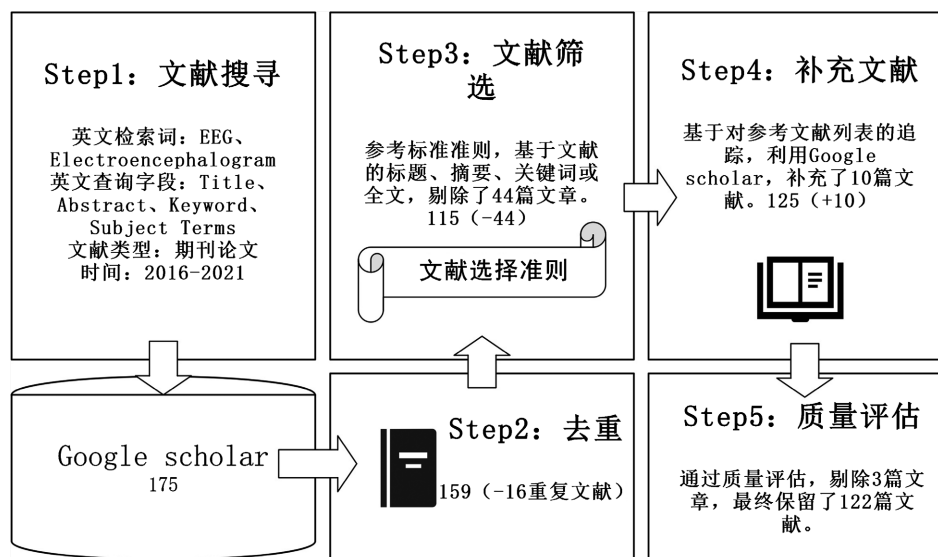


Figure 3. Systematic review workflow  
图 3. 系统性综述工作流程

Table 1. Literature set feature distribution

表 1. 文献集特征分布

特征分布		数量	占比(%)
年份	2016~2021	122	100
文章类别	期刊论文	122	100
学科类别	计算机科学	23	18.9
	教育学	8	6.6
	神经工程	10	8.2
	信息系统	13	10.7
	医学	25	20.5
	神经营销学	16	13.1
	心理学	19	15.6
	运动科学	6	4.9
	艺术	2	1.6

## 4. 分析结果

### 4.1. 来源期刊分析

通过对来源期刊的收集和分析，我们可以更好地了解该学科领域的核心期刊，从而更加便捷地获取

信息,并及时跟踪该领域的研究进展和最新发展动态。目前,国外发表脑电技术文献的期刊涉及医学、心理学、社会学、信息管理学、计算机科学等多个领域,反映了脑电技术对多种学科进行融合利用以提供服务的特点。排名前10的出版物如图4所示。排名前十的期刊中,有8篇属于医学,5篇属于心理学,2篇属于信息系统。出版量最高的期刊是 *Clinical Neurophysiology*,它致力于发表关于人类周围和中枢神经系统的病理生理学基础疾病的学术报告。包括 *Epilepsy & Behavior*、*Seizure* 和 *Epilepsy Research* 在内的三种期刊,专注于癫痫发作,发表与疾病本身相关的基础科学、癫痫发作的鉴别诊断、自然史和流行病学,以及癫痫发作障碍的调查和实际管理(包括药物治疗、神经外科和非医学或行为治疗)。包括 *International Journal of Psychophysiology*、*Neuropsychologia*、*Sleep Medicine* 和 *Biological Psychology* 在内的四种期刊,是国际跨学科期刊,致力于从神经科学的角度推进对人类认知和行为的理解的实验和理论研究。他们考虑发表将大脑功能与认知过程直接联系起来的研究,包括感知、注意力和意识、运动和控制、执行功能和认知控制、记忆、语言、情感和社会认知,强烈鼓励使用认知神经科学的方法来推进认知和心理学理论的论文。另外,*Pediatric Neurology* 主要专注于在诊断、管理儿科神经疾病的治疗的最新进展。*NeuroImage* 关注神经影像在研究结构-功能和大脑行为关系方面取得的重要进展。

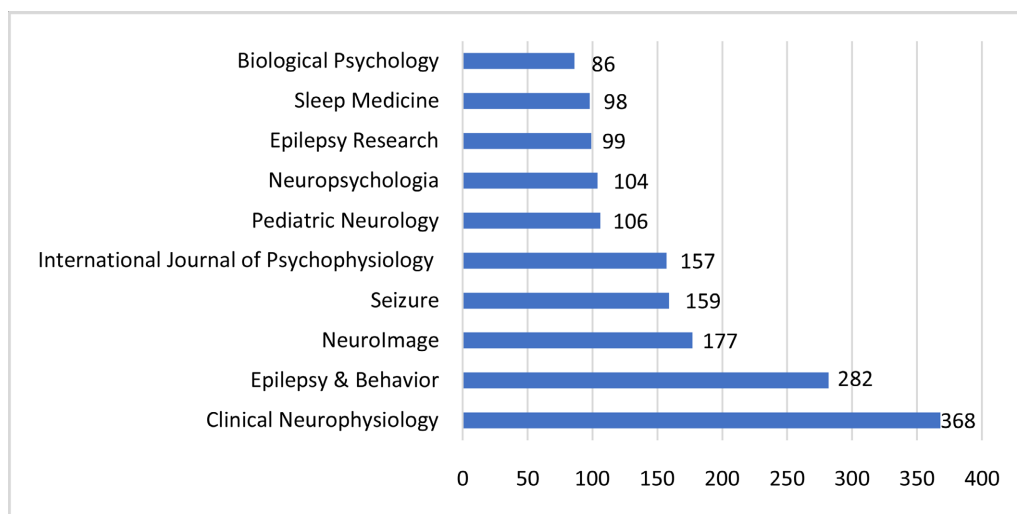


Figure 4. Top 10 journals by publication  
图 4. 出版量排行前十的期刊

## 4.2. 关键词可视化分析

关键词是作者对自己论文最具概括性的描述,可能涉及研究主题、背景、内容或方法等多个方面。本研究利用 VOS viewer 软件,选择“keyword”作为节点,对 122 篇文献绘制了一张知识图谱,从而直观地反映出脑电技术应用于国外各领域研究的侧重点。通过软件调节参数,选择最低出现频率为 6 次的关键词,在出现的 3830 个关键词里有 85 个关键词符合条件,对这 85 个关键词进行了知识图谱分析。在该可视化中,节点大小与关键词出现频次成正比,节点间连线的粗细则与两个关键词在同一文献中的共现频次成正比。

根据图 5 所示,文献中的高频关键词将共线网络划分为三个聚类群,其中第一个红色聚类群主要涉及医药卫生领域,如患者、治疗、诊断和癫痫等,通过分析这些关键词,可以发现脑电技术在癫痫、睡眠障碍和脑损伤[21]等疾病的治疗中应用十分广泛,其主要原因在于脑电图可以直观地区分正常脑和异常脑[22],从而有助于癫痫的监测和治疗。第二个蓝色聚类主要涉及产品、软件、营销和情绪等神经管理学





患者尽早采取预防措施和治疗措施,防止病情恶化。

## 5.2. 神经工程

脑机接口(Brain-computer interface, BCI)是人脑与计算机之间的通信系统[32]。最常见的应用之一是游戏控制,基于游戏的脑机接口(game-BCI)是指脑机接口和游戏的结合。通过对脑电信号的识别,用户可以完成对游戏的直接控制。这不仅为健康人提供了一种新的游戏互动方式,也为残障人士的康复提供了新的途径[33]。通过实现脑机接口,脑电图耳机可以取代键盘或游戏机[34]。

在目前的研究和应用中,脑机交互方式仍然侧重于实现残疾人的一些基本需求。例如,基于运动想象的轮椅控制[35]、基于事件诱发电位的光标控制[36]、在3D虚拟环境下基于运动想象的汽车驾驶等[37]以及基于EEG头戴式耳机控制假肢手[38]。然而,残疾人更高级的需求仍未得到满足。国内有研究人员提出了一种基于集成深度学习模型的情绪状态检测方法[39],主要从脑电信号中提取代表情绪状态重要信息的初始特征。在现有脑机接口技术的基础上,基于脑电图的情绪识别可以进一步满足残障人士一些更高级的偏好需求[40],如食物选择、电视节目选择和音乐选择等,设计出更友好、更智能的脑机接口,进一步提高残疾人的生活质量。

## 5.3. 神经营销

神经营销是一门结合行为心理学、经济学和消费者神经科学的全新学科。借助脑电图的技术,它可以测量被试对刺激的反应来识别更好的营销方式或产品。通过脑电技术,研究人员能够深入了解无意识的选择和偏好驱动因素[41],即通过分析刺激过程中所记录的脑电图,可以识别出更适合的营销方法或产品。比如可以使用BCI来识别参与者选择喜欢形状、味道和配料的饼干[40]。而这是他们用传统方法(焦点小组、深度访谈和问卷调查)无法发现的。通过广告对各种消费品进行营销和促销运动是一个众所周知的做法,以此来提高销售和消费者的认识[41]。了解消费者对决策的偏好,利用无意识过程对产品进行有效利用的决策和行为预测就是一种“神经营销”[41]。

另外,在旅游行业中也有神经营销的应用,有研究提出了度假目的的营销评估方法[42]。实验参与者在电影中接触旅游目的地,该方法可以评价他们对刺激效果的反应,从而更好地了解更受欢迎的旅游目的地。

## 5.4. 信息行为

脑电图作为一种认知神经研究工具,在信息系统领域具有巨大的潜力,是对其他研究方法的良好补充。有充足的研究证明,脑电信号中的许多成分与人的认知活动的过程密不可分。脑电技术的应用弥补了传统信息行为领域在个体认知层面研究决策动机、情绪影响、注意力分配等方面的不足。直接客观的生理数据可以丰富数据源,有助于打破主观性强、难以深入解释的传统研究方法,帮助科学家更好地解释用户行为。脑电技术提供了一种直接的人机交互的方式,有效地对人类大脑的活动进行测量[1],如提升游戏玩家购买装备的决策行为[22]、什么措施可以减少人们沉浸在短视频的时间[43]、网络求助或助人行为[44]、在线学习设计系统[45]等等。

未来研究可以多样化获取研究数据,可将引入新兴的脑电技术收集生理数据的方法作为传统主观研究方法的有效补充。

## 5.5. 教育

通过计算机组织远程教育在当今许多人选择的学习方式之一。通过基于脑电图的情绪识别,教师可以从远处实时了解学生的心理状态,并根据学生的情况调整教学难度[46],从而增加教育的人性化,使计

算机作为媒介进行学习的功能达到最佳化。基于认知负荷理论,一些研究利用脑电图技术检测学生在在线学习环境中观看视频的心理努力(即理解或不理解学习材料),能够有效地帮助用户在沉浸于在线学习环境的同时,对自己的学习状态能有自我意识[45]。

## 6. 挑战和未来展望

### 6.1. 挑战

#### 6.1.1. 研究结果的解释存在模糊性

当前对脑电数据与人的行为之间一一对应关系的理解仍面临概念模糊的问题,当被试执行一项心理或行为任务时,其本质是将信息行为映射到特定的大脑区域,但人的大脑数据与心理行为之间的对应关系可能是“一对一”、“一对多”甚至是更为复杂的“多对多”关系,这使得从客观大脑活动到主观精神状态的直接推断是有问题的,它们之间的映射关系很难做到精准的解释。

#### 6.1.2. 脑电信号在采集过程中容易受到外界环境的干扰

在实际应用中,由于真实环境非常复杂,干扰源较多,这些不需要的信号主要来自环境噪声、实验误差和生理假象,导致采集到的脑电信号并不准确。例如,对于同一个人的特定活动,所获得的数据可能会根据他们的生理或心理状态而有所不同。

#### 6.1.3. 隐私和信息安全保护措施较为薄弱

目前为止,大多数研究都着力于增加脑电信号采集的准确性和可靠性,缺少对数据隐私安全问题的关注。由于 EEG 是对人脑电活动的全面测量,它包含了丰富的隐私信息,而数据和模型在不同部分之间的传输可能会造成严重的隐私威胁。关于谁有权访问生成的数据、谁有权收集数据,均需要法律和监管保护。目前脑电隐私保护技术的研究还不全面,未来有必要继续发展隐私保护脑电信号滤波技术。

### 6.2. 未来展望

#### 6.2.1. 脑电技术与其他研究方法良好互补

目前许多认知行为科学的研究以实证研究为主。但现有问卷调查法在应用过程中信度和效度分析相对缺失,降低了研究的信效度;样本类型相对单一,影响了结论的普适性;部分研究之间采用二手调查数据,数据支撑力度不足,导致这些研究分析相对简单,缺乏足够的解释力。此外,问卷调查难以收集纵向数据,探索人们行为本质的最佳途径是进行长期的纵向跟踪观察。未来研究建议多样化获取研究数据,可引入新兴的脑电技术收集生理数据的方法作为数据补充。

#### 6.2.2. 脑电技术与人机交互相互促进

目前脑-计算机接口已经涌现出了很多有效的应用,脑电在残障人士的康复治疗中起着重要的作用,安全性的问题就非常值得我们去考虑。另外,这些研究绝大多数都是在健全的被试身上进行可行性的试验,针对残障人士的研究也主要由研究者主导,将这些研究成果真正转化为临床应用,普遍改善残障人士的日常生活仍面临着较大的挑战。脑电技术与人机交互的结合,基本可以满足残疾人的生活需求,甚至是一些更高级的需求。从而设计出更友好、更智能的脑机接口,更好地提高残疾人的生活质量。

#### 6.2.3. 脑电技术与营销研究有效结合

在神经营销学中,脑电技术通常用于识别人的偏好。与传统的营销方式相比,脑电技术可以有效地支持传统的营销主张,帮助营销者理解如何更有效地向消费者推销产品。虽然它不太可能取代传统的营销组合,但神经营销可以为营销主张提供支持,并帮助为产品找到正确的受众。



## 7. 结论

本文对国外采用脑电技术进行实验的 122 篇文献进行分析发现, 脑电技术的应用在医学及心理学、脑机接口和神经营销学领域已经表现出较广阔的前景。在医学领域, 有研究者提出了利用机器学习实现脑电自动检测和分析的方法, 更加准确、省时。对于脑电接口的应用, 可以看出世界各国研究者的创新使脑电的不同用途成为可能, 脑电技术可以用来控制轮椅、机械臂和移动机器人等物体。而市场营销的目标是了解客户喜好, 从而使产品个性化, 而有时传统方法的结果是不充分的, 所以他们需要补充一些神经营销技术。

本文通过绘制脑电技术应用现况的可视化图谱作为简洁明了的信息展现方式, 有利于强化研究人员的分析和增强读者的理解, 将成为未来研究的趋势; 本文建立了更加完善的脑电实验方法论, 为未来脑电技术的实验研究提供参考; 本文对现有的相关研究进行了系统性的梳理和分析, 揭示了国外各领域采用脑电实验的特点及脑电技术的应用领域特点, 拓展了学科边界, 也为今后学术界的进一步研究提供了一个有用的工具。

## 基金项目

领悟社会支持在恶性肿瘤患者性格优势与应对方式间的中介作用(ZZCX2022006)。

## 参考文献

- [1] He, Z., Yang, K., Zhuang, N. and Zeng, Y. (2021) Processing of Affective Pictures: A Study Based on Functional Connectivity Network in the Cerebral Cortex. *Computational Intelligence and Neuroscience*, **2021**, Article ID: 5582666. <https://doi.org/10.1155/2021/5582666>
- [2] Gkintoni, E., Meintani, P.M. and Dimakos, I. (2021) Neurocognitive and Emotional Parameters in Learning and Educational Process. *14th Annual International Conference of Education, Research and Innovation*, Online, 8-9 November 2021, 2588-2599. <https://doi.org/10.21125/iceri.2021.0659>
- [3] Bruner, E., Battaglia-Mayer, A. and Caminiti, R. (2023) The Parietal Lobe Evolution and the Emergence of Material Culture in the Human Genus. *Brain Structure and Function*, **228**, 145-167. <https://doi.org/10.1007/s00429-022-02487-w>
- [4] Palejwala, A.H., O'Connor, K.P., Pelargos, P., Briggs, R.G., Milton, C.K., Conner, A.K., Milligan, T.M., O'Donoghue, D.L., Glenn, C.A. and Sughrue, M.E. (2020) Anatomy and White Matter Connections of the Lateral Occipital Cortex. *Surgical and Radiologic Anatomy*, **42**, 315-328. <https://doi.org/10.1007/s00276-019-02371-z>
- [5] Doherty, C., Nowacki, A.S., Pat McAndrews, M., McDonald, C.R., Reyes, A., Kim, M.S., Hamberger, M., Najm, I., Bingaman, W., Jehi, L. and Busch, R.M. (2021) Predicting Mood Decline Following Temporal Lobe Epilepsy Surgery in Adults. *Epilepsia*, **62**, 450-459. <https://doi.org/10.1111/epi.16800>
- [6] Fu, Z., Wu, D.-A.J., Ross, I., Chung, J.M., Mamelak, A.N., Adolphs, R. and Rutishauser, U. (2019) Single-Neuron Correlates of Error Monitoring and Post-Error Adjustments in Human Medial Frontal Cortex. *Neuron*, **101**, 165-177. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.11.016>
- [7] 庄宁. 基于脑电的情绪加工与识别技术研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 战略支援部队信息工程大学, 2020.
- [8] Songsamoe, S., Saengwong-ngam, R., Koomhin, P. and Matan, N. (2019) Understanding Consumer Physiological and Emotional Responses to Food Products Using Electroencephalography (EEG). *Trends in Food Science and Technology*, **93**, 167-173. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.018>
- [9] Lai, C.Q., Ibrahim, H., Abdullah, M.Z., Abdullah, J.M., Suandi, S.A. and Azman, A. (2018) Literature Survey on Applications of Electroencephalography (EEG). *AIP Conference Proceedings*, **2016**, Article ID: 020070. <https://doi.org/10.1063/1.5055472>
- [10] Jebelli, H., Hwang, S. and Lee, S. (2018) EEG Signal-Processing Framework to Obtain High-Quality Brain Waves from an Off-the-Shelf Wearable EEG Device. *Journal of Computing in Civil Engineering*, **32**, Article ID: 04017070. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000719](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000719)
- [11] Prabhu, S., Murugan, G., Cary, M., Arulperumjothi, M. and Liu, J.-B. (2020) On Certain Distance and Degree Based Topological Indices of Zeolite LTA Frameworks. *Materials Research Express*, **7**, Article ID: 055006. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab8b18>

- [12] Motamedi-Fakhr, S., Moshrefi-Torbati, M., Hill, M., Hill, C.M. and White, P.R. (2014) Signal Processing Techniques Applied to Human Sleep EEG Signals—A Review. *Biomedical Signal Processing and Control*, **10**, 21-33. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2013.12.003>
- [13] Ramanujam, B., Dash, D. and Tripathi, M. (2018) Can Home Videos Made on Smartphones Complement Video-Eeg in Diagnosing Psychogenic Nonepileptic Seizures? *Seizure*, **62**, 95-98. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2018.10.003>
- [14] Davis, F.D., Riedl, R., vom Brocke, J., Léger, P.M. and Randolph, A.B. (2016) Information Systems and Neuroscience: Gmunden Retreat on NeuroIS 2016. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41402-7>
- [15] 李培楠, 包为民, 姚伟. 工程科学发展战略问题与机制完善[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(3): 317-325.
- [16] Lafon, B., Henin, S., Huang, Y., Friedman, D., Melloni, L., Thesen, T., Doyle, W., Buzsáki, G., Devinsky, O., Parra, L.C. and Liu, A.A. (2017) Low Frequency Transcranial Electrical Stimulation Does Not Entrain Sleep Rhythms Measured by Human Intracranial Recordings. *Nature Communications*, **8**, No. 1199. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01045-x>
- [17] Bleichner, M.G. and Debener, S. (2017) Concealed, Unobtrusive Ear-Centered EEG Acquisition: CEEGrids for Transparent EEG. *Frontiers in Human Neuroscience*, **11**, Article 163. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00163>
- [18] Kumar, J.S. and Bhuvaneswari, P. (2012) Analysis of Electroencephalography (EEG) Signals and Its Categorization—A Study. *Procedia Engineering*, **38**, 2525-2536. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.298>
- [19] Mehmood, R.M. and Lee, H.J. (2016) A Novel Feature Extraction Method Based on Late Positive Potential for Emotion Recognition In Human Brain Signal Patterns. *Computers and Electrical Engineering*, **53**, 444-457. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2016.04.009>
- [20] Peterson, V., Galván, C., Hernández, H. and Spies, R. (2020) A Feasibility Study of a Complete Low-Cost Consumer-Grade Brain-Computer Interface System. *Heliyon*, **6**, e03425. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03425>
- [21] Wulandari, D.P., Putri, N.G.P., Suprpto, Y.K., Purnami, S.W., Juniani, A.I. and Islamiyah, W.R. (2019) Epileptic Seizure Detection Based on Bandwidth Features of EEG Signals. *Procedia Computer Science*, **161**, 568-576. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.157>
- [22] Riedl, R. and Léger, P.-M. (2016) Fundamentals of NeuroIS: Information Systems and the Brain. Springer, Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-45091-8>
- [23] Golnar-Nik, P., Farashi, S. and Safari, M.S. (2019) The Application of EEG Power for the Prediction and Interpretation of Consumer Decision-Making: A Neuromarketing Study. *Physiology and Behavior*, **207**, 90-98. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.04.025>
- [24] Hsu, L. and Chen, Y.-J. (2020) Neuromarketing, Subliminal Advertising, and Hotel Selection: An EEG Study. *Australasian Marketing Journal*, **28**, 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.ausmj.2020.04.009>
- [25] Buettner, R., Rieg, T. and Frick, J. (2020) Machine Learning Based Diagnosis of Diseases Using the Unfolded EEG Spectra: Towards an Intelligent Software Sensor. In: Davis, F., Riedl, R., vom Brocke, J., Léger, P.-M., Randolph, A. and Fischer, T., Eds., *Information Systems and Neuroscience. Lecture Notes in Information Systems and Organisation*, Vol. 32, Springer, Cham, 165-172. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-28144-1\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-28144-1_18)
- [26] Marchi, N., Granata, T. and Janigro, D. (2014) Inflammatory Pathways of Seizure Disorders. *Trends in Neurosciences*, **37**, 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.11.002>
- [27] Kumar, Y., Dewal, M.L. and Anand, R.S. (2013) Wavelet Entropy Based EEG Analysis for Seizure Detection. 2013 *IEEE International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPCC)*, Solan, 26-28 September 2013, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ISPCC.2013.6663415>
- [28] Cai, H., Han, J., Chen, Y., Sha, X., Wang, Z., Hu, B., Yang, J., Feng, L., Ding, Z., Chen, Y. and Gutknecht, J. (2018) A Pervasive Approach to EEG-Based Depression Detection. *Complexity*, **2018**, Article ID: 5238028. <https://doi.org/10.1155/2018/5238028>
- [29] Peveler, R., Carson, A. and Rodin, G. (2002) Depression in Medical Patients. *BMJ*, **325**, 149-152. <https://doi.org/10.1136/bmj.325.7356.149>
- [30] McIntyre, R.S. and O'Donovan, C. (2004) The Human Cost of Not Achieving Full Remission in Depression. *Canadian Journal of Psychiatry*, **49**, 10S-16S.
- [31] Hasanzadeh, F., Mohebbi, M. and Rostami, R. (2019) Prediction of rTMS Treatment Response in Major Depressive Disorder Using Machine Learning Techniques and Nonlinear Features of EEG Signal. *Journal of Affective Disorders*, **256**, 132-142. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2019.05.070>
- [32] Smitha, K.G., Vinod, A.P. and Mahesh, K. (2017) Voice Familiarity Detection Using EEG-Based Brain-Computer Interface. 2016 *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, Budapest, 9-12 October 2016, 1626-1631. <https://doi.org/10.1109/SMC.2016.7844472>
- [33] Tezza, D., Caprio, D., Garcia, S., Pinto, B., Laesker, D. and Andujar, M. (2020) Brain-Controlled Drone Racing Game:

- A Qualitative Analysis. In: Fang, X., Ed., *HCI in Games. HCII 2020. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 12211, Springer, Cham, 350-360. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50164-8\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50164-8_25)
- [34] Sood, S.K. and Singh, K.D. (2018) An Optical-Fog Assisted EEG-Based Virtual Reality Framework for Enhancing E-Learning through Educational Games. *Computer Applications in Engineering Education*, **26**, 1565-1576. <https://doi.org/10.1002/cae.21965>
- [35] Galán, F., Nuttin, M., Lew, E., Ferrez, P.W., Vanacker, G., Philips, J. and del R. Millán, J. (2008) A Brain-Actuated Wheelchair: Asynchronous and Non-Invasive Brain-Computer Interfaces for Continuous Control of Robots. *Clinical Neurophysiology*, **119**, 2159-2169. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.06.001>
- [36] Liu, T., Goldberg, L., Gao, S. and Hong, B. (2010) An Online Brain-Computer Interface Using Non-Flashing Visual Evoked Potentials. *Journal of Neural Engineering*, **7**, Article ID: 036003. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/7/3/036003>
- [37] Zhao, Q., Zhang, L. and Cichocki, A. (2009) EEG-Based Asynchronous BCI Control of a Car in 3D Virtual Reality Environments. *Chinese Science Bulletin*, **54**, 78-87. <https://doi.org/10.1007/s11434-008-0547-3>
- [38] Kasim, M.A.A., Low, C.Y., Ayub, M.A., Zakaria, N.A.C., Salleh, M.H.M., Johar, K. and Hamli, H. (2017) User-Friendly LabVIEW GUI for Prosthetic Hand Control Using Emotiv EEG Headset. *Procedia Computer Science*, **105**, 276-281. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.222>
- [39] 晁浩, 刘永利, 连卫芳. EEG 情感识别中基于集成深度学习模型的多分析域特征融合[J]. *控制与决策*, 2020, 35(7): 1674-1680.
- [40] Khushaba, R.N., Wise, C., Kodagoda, S., Louviere, J., Kahn, B.E. and Townsend, C. (2013) Consumer Neuroscience: Assessing the Brain Response to Marketing Stimuli Using Electroencephalogram (EEG) and Eye Tracking. *Expert Systems with Applications*, **40**, 3803-3812. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.095>
- [41] Ćosić, D. (2016) Neuromarketing in Market Research. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, **14**, 139-147. <https://doi.org/10.7906/indecs.14.2.3>
- [42] Bastiaansen, M., Straatman, S., Driessen, E., Mitas, O., Stekelenburg, J. and Wang, L. (2018) My Destination in Your Brain: A Novel Neuromarketing Approach for Evaluating the Effectiveness of Destination Marketing. *Journal of Destination Marketing & Management*, **7**, 76-88. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2016.09.003>
- [43] Tromp, J., Peeters, D., Meyer, A.S. and Hagoort, P. (2018) The Combined Use of Virtual Reality and EEG to Study Language Processing in Naturalistic Environments. *Behavior Research Methods*, **50**, 862-869. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0911-9>
- [44] D'Errico, F., Leone, G., Schmid, M. and D'Anna, C. (2020) Prosocial Virtual Reality, Empathy, and EEG Measures: A Pilot Study Aimed at Monitoring Emotional Processes in Intergroup Helping Behaviors. *Applied Sciences*, **10**, Article No. 1196. <https://doi.org/10.3390/app10041196>
- [45] Lin, F.R. and Kao, C.M. (2018) Mental Effort Detection Using EEG Data in E-Learning Contexts. *Computers and Education*, **122**, 63-79. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.020>
- [46] Chen, J., Li, H., Ma, L., Bo, H. and Gao, X. (2020) Application of EEMD-HHT Method on EEG Analysis for Speech Evoked Emotion Recognition. 2020 *IEEE Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR)*, Shenzhen, 6-8 August 2020, 376-381. <https://doi.org/10.1109/MIPR49039.2020.00082>