

基于脑电微状态的精神障碍研究综述

苏文秀

广州大学教育学院, 广东 广州

收稿日期: 2025年3月6日; 录用日期: 2025年4月3日; 发布日期: 2025年4月21日

摘要

脑电微状态是一种基于脑电图的分析方法, 通过识别脑电活动的短暂稳定模式来揭示大脑的动态功能状态。近年来, 脑电微状态在精神障碍的研究中得到了广泛关注, 因其具有成为客观生物标志物的潜力, 能够为精神障碍的诊断和治疗提供新的视角。本文综述了脑电微状态在精神障碍领域的应用进展, 探讨了其在早期识别、跨诊断与共病性研究及治疗效果评估中的潜在价值。尽管脑电微状态具有重要的应用前景, 但在实际应用中仍面临诸多挑战。聚类算法和标记标准的选择、患者特征以及精神障碍的异质性等因素均可能影响其可靠性和有效性。本文通过系统梳理现有研究, 分析了这些因素对脑电微状态应用的影响, 并探讨了未来研究的方向, 以期为未来的研究和临床应用提供参考。

关键词

脑电微状态, 静息态脑网络, 精神障碍

A Review of EEG Microstates in Psychiatric Disorders

Wenxiu Su

School of Education, Guangzhou University, Guangzhou Guangdong

Received: Mar. 6th, 2025; accepted: Apr. 3rd, 2025; published: Apr. 21st, 2025

Abstract

Electroencephalographic (EEG) Microstates are an analytical method based on EEG that identifies transient stable patterns of brain electrical activity to reveal the dynamic functional states of the brain. In recent years, EEG Microstates have garnered significant attention in the study of psychiatric disorders due to their potential as objective biomarkers, offering new insights into the diagnosis and treatment of these conditions. This review summarizes the progress of EEG Microstates in the field of psychiatric disorders and explores their potential value in early identification, transdiagnostic research, comorbidity research, and treatment effect assessment. Despite the promising

application prospects of EEG Microstates, several challenges remain in their practical use. Factors such as clustering algorithms and labeling criteria, clinical characteristics of patients, and the heterogeneity and complexity of psychiatric disorders can all influence their reliability and effectiveness. This review systematically examines the existing research to analyze the impact of these factors on the application of EEG Microstates and discusses future research directions, with the goal of providing a reference for future studies and clinical applications.

Keywords

EEG Microstates, Resting-State Brain Networks, Psychiatric Disorders

Copyright © 2025 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

精神障碍是全球范围内公共卫生领域的重大挑战之一。世界卫生组织数据显示,全球约 10 亿人受精神或神经类疾病困扰,抑郁症、焦虑症、精神分裂症等常见精神障碍的患病率逐年攀升,已成为致残和疾病负担的主要来源之一(World Health Organization, 2022)。然而,精神障碍的诊断至今仍主要依赖于临床症状的主观评估,缺乏客观的生物学标志物。这种依赖症状描述的诊断存在诊断异质性高、共病现象复杂等问题。在此背景下,寻找能够表征大脑功能异常的生物学标志物,成为精神医学和临床心理学研究的重要方向。

脑电图(Electroencephalogram, EEG)作为无创、高时间分辨率的神经电生理技术,长期被视为探索大脑动态活动的重要工具。传统 EEG 分析主要聚焦于频谱特征,而微状态分析则通过识别头皮电位地形图的短暂稳定状态(通常持续 60~120 ms),揭示大脑网络的动态重组规律(Lehmann et al., 1987)。经典研究将静息态 EEG 微状态划分为四类,即微状态 A、B、C 和 D(见图 1),分别对应功能磁共振成像(functional-magnetic resonance imaging, fMRI)识别的听觉、视觉、凸显和注意网络(Britz et al., 2010),这一模型成为后续研究的基础。

在微状态分析中,最常使用持续时间、覆盖率、出现频率和转换概率等参数的变化来描述大脑状态变化(Michel & Koenig, 2018)。持续时间是特定微状态保持稳定的平均时间长度,反映某类微状态的稳定性。覆盖率指特定微状态的持续时间占总持续时间的百分比,反映某类微状态的主导地位。出现频率指某一微状态每秒占优势的平均次数,反映该类微状态的活跃程度。微状态之间的转换概率是非随机的,揭示微状态之间的动态关系(Khanna et al., 2015)。

近年研究表明,微状态参数精神障碍患者中表现出显著特异性,其作为生物学标志物存在巨大潜力。最早使用脑电微状态对精神障碍进行诊断的研究可以追溯到 1999 年, Koenig 等研究者发现精神分裂症患者在静息状态下脑微状态存在异常表现,尤其是 D 类微状态的持续时间缩短与偏执症状的严重程度相关(Koenig et al., 1999)。另一项早期研究也针对精神障碍患者异常脑电微状态,发现精神分裂症患者的微状态持续时间缩短主要集中在 B 类和 D 类,而 A 类和 C 类微状态的出现频率增加。这种选择性的缩短和出现频率增加可能反映了患者在某些思维操作类别中的信息处理过早终止。此外,微状态语法的紊乱表明患者在微状态序列组织上存在异常,这可能与脑功能组织受损有关(Lehmann et al., 2005)。此后,该领域对多种精神障碍都展开了丰富研究。系统梳理脑电微状态在精神障碍诊断中的现状及问题,可以为优化临床诊断及探索神经机制提供一定参考。

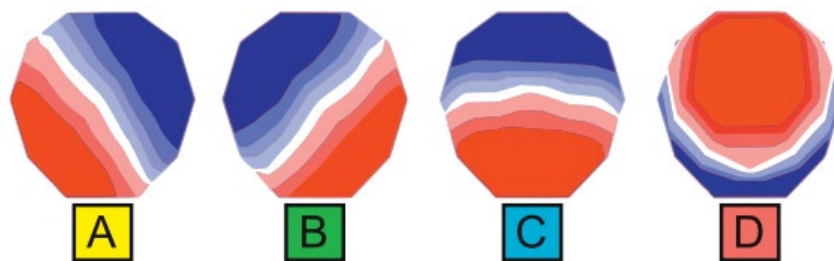


Figure 1. EEG microstates: A, B, C, and D (adapted from Khanna et al., 2015)

图 1. 脑电微状态 A, B, C, D (摘自 Khanna et al., 2015)

2. 脑电微状态的原理与方法

2.1. 脑电微状态的分析流程

完整的脑电微状态的分析流程通常包括以下几个关键步骤。

2.1.1. 数据预处理

脑电微状态分析的首要步骤是对原始脑电图数据进行预处理，以确保数据质量满足后续分析的要求。预处理过程通常包括滤波、去除伪迹和分段等操作。滤波操作旨在去除 EEG 信号中的高频噪声和低频漂移，常用的滤波范围为 0.1 Hz 至 30 Hz。随后，通过独立成分分析等方法去除眼动、肌肉活动等伪迹信号，以提高数据的信噪比。最后，将连续的 EEG 数据分割成若干个时间窗口，为后续的微状态分析做好准备。

2.1.2. 计算全局场功率(Global Field Power, GFP)

预处理后的 EEG 数据需计算全局场功率，其定义为所有电极值的标准差，能够反映大脑活动的整体强度(Lehmann & Skrandies, 1980)。GFP 的计算有助于识别脑电活动的显著变化点，为微状态的提取提供依据。从 GFP 时间序列中提取局部最大值点，这些峰值点对应的脑电拓扑图被认为是信噪比较高、脑电拓扑图相对稳定的点，可作为后续微状态模式提取的候选样本。

2.1.3. 微状态模式提取

基于提取的 GFP 峰值点对应的脑电拓扑图，采用聚类分析方法提取微状态模式。常用的聚类算法包括 K 均值算法、原子凝聚层次聚类以及独立成分分析等。通过将相似的脑电拓扑图归为一类，得到若干个具有代表性微状态模式。一般而言，静息态 EEG 数据可提取 4 个主要的微状态模式，即经典的 A、B、C 和 D 四类，但根据研究目的和数据特点，也可选择其他数量的微状态模式。聚类分析的结果需经过验证，以确保微状态模式的稳定性和可靠性(Tarailis et al., 2023)。

2.1.4. 微状态序列拟合

将每个时间点的脑电拓扑图与提取的微状态模式进行相似性比较，根据相似性分配最匹配的微状态标签，从而得到微状态序列。为了减少噪声影响，提高微状态序列的稳定性，通常需要对序列进行时间平滑处理，如采用中值滤波或移动平均等方法。

2.1.5. 微状态特征提取

从微状态序列中提取一系列特征，即引言中提到的持续时间、出现频率、时间覆盖率和转换概率等参数。对提取的微状态特征进行统计分析，比较不同组别或条件下的差异，可探讨微状态与认知或精神障碍之间的关系。常用的统计方法包括 t 检验、方差分析等。

2.2. 脑电微状态的生理机制

2.2.1. 神经元活动和皮质网络

脑电微状态产生于跨皮层区域的神经元的协调活动,这种协调活动使得整个头皮电极信号能够以一种全脑模式协调一致地活动,并生成准稳定的脑电微状态。不同的脑电微状态,正是由大脑中不同组合的神经元群体的协调活动所产生的。这些神经元群体分布在大脑的各个皮质区域,包括额叶、顶叶、枕叶和颞叶等,它们通过轴突连接形成复杂的神经网络。在静息状态下,大脑各神经元组合活动之间并非处于静止状态,而是进行着快速的切换(Koenig et al., 2002)。这种快速切换在脑电微状态的时间序列中表现为不同的微状态之间的相互转换。每一次微状态的转换,都可以理解为代表了不同神经网络的激活顺序。当精神障碍患者这种神经元活动和皮质网络的协调机制受到干扰或破坏时,就可能导致脑电微状态的异常。

2.2.2. 神经传递与兴奋-抑制平衡

脑电微状态的生成不仅依赖于神经元的协调活动,还受到大脑内兴奋性和抑制性神经传递的精细调控。近年来的研究表明,脑电微状态的动态变化与神经元群体的兴奋-抑制平衡密切相关。这种平衡主要由谷氨酸(主要的兴奋性神经递质)和 γ -氨基丁酸(gamma-aminobutyric acid, GABA, 主要的抑制性神经递质)的相互作用维持。Rajkumar 等人(2021)发现,在静息态条件下,GABA 受体的活动对脑电微状态的形成和转换起着主导作用。此外,GABA 能神经传递的增强(如通过劳拉西泮给药)会显著改变脑电微状态的动态特性,包括神经元群体的大小、功能寿命和稳定性(Fingelkurts et al., 2004)。这些研究结果提示,脑电微状态的生成和转换可能更多地反映了大脑抑制性神经传递的动态变化,而不是单纯的兴奋性活动。精神障碍患者中,这种由 GABA 能神经传递维持的兴奋-抑制平衡可能受到干扰,从而导致脑电微状态的异常。

3. 脑电微状态在精神障碍研究中的多维应用

3.1. 精神障碍的早期识别与诊断

早期识别是精神障碍治疗的关键。研究发现,在精神分裂症的研究中,患者即使在疾病早期也表现出微状态 A 和 B 的平均持续时间和覆盖率显著增加,这可能反映了其默认模式网络的异常激活(da Cruz et al., 2020)。此外,抑郁症患者表现出微状态 C 的出现频率显著降低,这可能反映了其情绪调节功能的早期损害(Che et al., 2025)。另一项针对首发、未经药物治疗的青少年抑郁症患者的脑电微状态研究表明,青少年抑郁症患者的微状态 B、C 和 D 的持续时间显著延长。微状态 A 和 C 的出现频率显著降低,而微状态 B 的出现频率显著增加。微状态 A 和 C 的覆盖时间显著降低,而微状态 B 和 D 的覆盖时间显著增加(Zhao et al., 2022)。这些异常可能与抑郁症患者在自我反思和内外环境监测方面的功能障碍、认知评估情境的困难、视觉处理功能障碍以及注意功能障碍等有关。对于重度抑郁症患者来说,脑电微状态异常还反映在转换概率的变化,患者微状态 A→D 和 C→D 的转换概率显著降低,而微状态 A→B 和 C→B 的转换概率显著增加(He et al., 2021)。这表明抑郁症患者的脑网络动态变化与健康对照组不同。对于自闭症儿童进行的脑电微状态研究表明,在闭眼静息状态下,微态 C 的持续时间增加和出现频率降低,这可能反映了 ASD 中显著性网络的异常活动(Nagabhushan Kalburgi et al., 2020)。

总的来说,脑电微状态在精神障碍早期识别的研究中涉及的类型较少。这在一定程度上与被试群体的获取难度有关。一方面,儿童和青少年的心理和生理仍在发育中,其参与研究的意愿和配合度相对较低,家长也可能因担心研究对孩子的潜在影响而不愿让孩子参与(Rodriguez et al., 2006)。另一方面,伦理审查对儿童和青少年参与研究的要求更为严格,进一步增加了招募难度(郭春彦等, 2021)。同时,青少年

抑郁症的研究相对较多,也与这一群体的特殊性有关。青少年抑郁症的早期症状容易被忽视,且其发病率呈上升趋势,对个体的学业、社交和人格发展影响深远(Thapar et al., 2022)。若未及时干预,可能导致严重后果。因此,脑电微状态对于精神障碍的早期识别需要更多研究,以期找到更准确的早期诊断指标和干预靶点,早期识别有助于为疾病的早期干预提供依据。

3.2. 精神障碍的跨诊断与共病性研究

跨诊断是指在不同疾病之间寻找共同的症状、机制或治疗方法。这种研究方法不局限于单一疾病的诊断,而是关注不同疾病之间的共性,以便更好地理解疾病的本质和开发更有效的治疗策略(Dalgleish et al., 2020)。脑电微状态在跨诊断研究领域也做出了贡献。研究发现,强迫症和精神分裂症患者表现出相同的微状态 C 类的覆盖率增加,微状态 D 类的平均持续时间和覆盖率减少(Thiriaux et al., 2023)。Wang 等人(2021)同时研究了精神分裂症患者、双相情感障碍患者和健康对照组的脑电微状态,发现双相情感障碍患者存在 A、B 类微状态异常特征,精神分裂症患者的四类微状态都存在异常特征。这些特征可能提示精神分裂症患者和双相情感障碍患者在神经资源分布和影响不同活动状态之间的适时转换方面存在潜在的异常。另一项研究以 135 名早期精神病患者为对象,发现微状态 D 类的减少可能是精神分裂症与自闭症谱系障碍共病的一个潜在标志(Iftimovici et al., 2023)。共病性是指同一患者同时存在两种或多种疾病或病症的现象(Feinstein, 1970)。Cao 等人(2024)研究了抑郁症伴失眠患者的脑电微状态特征,并探讨其与单纯抑郁症患者及健康对照组之间的差异。抑郁症伴失眠患者微状态 B 类的出现频率显著低于单纯抑郁症患者,且与睡眠质量呈负相关,可能反映了视觉网络的异常活动。微状态 C 在抑郁症伴失眠患者组中与睡眠质量相关,而在单纯抑郁症患者组中与抑郁症状的严重程度相关,可能反映了情绪失调和消极认知的神经动态基础。一项针对癫痫共病焦虑抑郁状态患者的脑电微状态研究表明,与癫痫无焦虑抑郁患者相比,癫痫共病焦虑抑郁状态患者病程更短,癫痫发作频率更高,且微状态 C 类出现频率减少(颜蓉, 2023)。说明癫痫控制不佳的患者更容易出现焦虑、抑郁等不良情绪。

对精神障碍共病性或跨诊断研究有助于我们更深入地了解多种精神障碍的共同缺陷或特殊缺陷,进而更精准地对疾病进行诊断或治疗。目前,脑电微状态对于跨疾病诊断的研究日渐增多,但对于共病性研究还较少,未来研究可以探究更多共病患者的脑电微状态异常特征。

3.3. 精神障碍的治疗效果评估

有效治疗是精神障碍诊断的最终目标。一些治疗技术的使用,如物质使用障碍患者在接受反复经颅磁刺激干预后,微状态 A 类的平均持续时间、出现频率和覆盖率相较于干预前显著增加(Ding et al., 2023)。这些参数的显著改善不仅表明了患者神经生理功能的恢复,还可能与患者的行为和认知改善相关。难治性抑郁患者,即对两种或以上抗抑郁药物无反应的抑郁症患者,在接受电休克治疗后状态 A 持续时间增加,微状态 C、D 出现频率降低,这些变化与治疗反应和自我报告的抑郁症状改善相关(Atluri et al., 2018)。这些结果支持了电休克治疗的抗惊厥假说,即电休克治疗技术通过激活抑制机制来抑制抑郁症中过度活跃的脑网络。除了技术治疗,不同精神障碍患者对药物治疗的反应也与其微状态动态特征密切相关。通过分析首发未治疗抑郁患者的脑电微状态,Lei 等人(2022)发现其在治疗前表现出微状态 D 持续时间缩短和微状态 A、B 出现频率增加等异常特征,而在选择性 5-羟色胺再摄取抑制剂(selective serotonin reuptake inhibitors, SSRI)治疗后这些特征趋于正常。另一项研究使用同类药物,探究该药物对重度抑郁症患者的治疗效果,还发现了脑电微状态的转换概率发生了显著变化,这些变化可能反映了大脑在功能上的重新组织和优化(Yan et al., 2021)。具体来说,治疗后微状态 A→C 的转换概率显著增加,表明大脑能够更有效地在不同认知和情感处理状态之间切换,这可能与认知功能的改善有关。同时,微状态 B 到 C 和 D 的转

换概率降低,可能意味着大脑减少了对某些情绪或注意力相关状态的依赖,从而减少了不必要的神经活动。此外,微状态 C→A 的转换概率增加,表明大脑能够更有效地从内省状态切换到认知处理状态,这进一步支持了认知功能改善的假设。而 C→B 的转换概率降低,则可能反映了大脑减少了从内省状态到情绪调节状态的切换,这与情绪调节的改善有关。总体而言,这些变化表明抗抑郁治疗可能通过优化大脑状态之间的转换,促进了认知和情绪功能的恢复。

这些研究表明,脑电微状态的动态特征与精神障碍患者的治疗反应密切相关,可作为预测治疗效果的潜在生物标志物。此外,治疗过程中微状态参数的动态变化可为剂量调整或联合治疗提供依据,避免“试错”策略。如 Zhao 等人(2023)研究发现,与药物治疗相比,药物联合重复经颅磁刺激治疗对自伤的重度抑郁症青少年的抑郁症状和自伤行为改善都更为显著。

4. 脑电微状态在精神障碍研究中的影响因素

4.1. 聚类算法和标记标准的选择

近年研究揭示微状态类别和功能可能更为复杂。有研究结合 EEG 与 fMRI 独立成分分析,识别出 13 种微状态,并发现脑电微状态还与额叶网络和默认模式网络有关联(Yuan et al., 2012)。Custo 等(2017)应用源定位技术识别了 7 种微状态,发现微状态 E 和 G 分别与默认模式网络和感觉运动网络有关,并分离出以往被混淆在微状态 C 中的微状态 F。

这些差异源于在微状态分析中,不同的研究会使用不同的聚类算法和标记标准。一方面,只有四类经典的微状态是按顺序标记的,而其他微状态类别的标记并没有统一标准,如有的研究随机标记,有的研究根据聚类算法输出的顺序进行标记(Tarailis et al., 2023)。这意味着,在不同的研究中,同一类微状态可能会因顺序的不一致而导致结果的矛盾,甚至产生错误的功能解释。

因此,这也给精神障碍诊断带来了困境。Damborská et al. (2019)等人在针对双向情感障碍的脑电微状态研究中,将微状态标记为 A 到 E 五类,微状态 A 的频率和覆盖率增加,认为微状态 A 的增加是双相情感障碍的一种生物标记。Wang et al. (2021)在相似研究中将微状态标记为四类,发现双向情感障碍患者存在微状态 A、B 的异常特征。类别差异将导致生物标记不够准确,而功能差异则影响对双向情感障碍疾病成因的解释。未来研究应建立标准化的脑电微状态分析流程和数据库,将有助于推动该领域的进一步发展。

4.2. 患者特征

年龄是影响脑电微状态特征的重要因素之一。研究表明,随着年龄的增长,脑电微状态在不同阶段的变化存在差异(Koenig et al., 2002)。从成年期到老年期,微状态 C 的持续时间和出现频率都会减少(Javed et al., 2020; Tomescu et al., 2018)。这给精神障碍诊断也带来了一定影响,如果患者组包括了不同年龄段的被试,那年龄就有可能影响结果的可靠性。为了控制年龄的影响,针对精神障碍的脑电微状态研究中通常会匹配年龄组,或者在统计分析中将年龄作为协变量进行调整(Damborská et al., 2019)。此外,一些研究还采用了年龄分层的方法,分别分析不同年龄段的微状态特征(Ihl & Brinkmeyer, 1999)。

性别差异也会影响微状态的分析结果。一项研究发现,男性倾向于保持在特定的稳定微状态,而女性则表现出更高的状态转换概率和更频繁的过渡状态(Al-Fahad & Yeasin, 2019)。在精神障碍的脑电微状态研究中,目前没有特别重视性别的影响。建议未来研究也匹配性别组,或者在统计分析中将性别作为协变量进行调整,或采用性别分层的方法,分别分析不同性别的微状态特征。

4.3. 精神障碍的异质性

精神障碍具有高度的异质性,不同的亚型和症状表现可能导致微状态的差异。精神障碍具有高度的

异质性,不同的亚型和症状表现可能导致微状态的差异。一项关于精神障碍诊断的脑电微状态研究发现,首发精神分裂症患者、超高风险个体和高风险个体相较于健康对照组的微状态并不相同,微状态 D 在各组间表现出显著差异,三组患者组的微状态 D 的持续时间、出现频率和时间覆盖度均低于健康对照组(Luo et al., 2020)。因此,在进行精神障碍诊断时如果不考虑症状严重程度,结果的精确性会降低。另一项研究通过脑电微状态分析揭示了注意缺陷与多动障碍不同亚型在脑电活动中的差异(Luo et al., 2021)。ADHD 可分为三种主要亚型:持续注意力不集中型(ADHD-I)、多动-冲动型(ADHD-HI)和两者的混合型(ADHD-C)。该研究发现,混合亚型患者的微状态 B 的出现频率和覆盖率显著高于持续注意力不集中亚型,表明持续注意力不集中亚型患者在被要求闭眼时更易冲动地睁开眼睛。微状态 A→C 之间的转换概率在混合亚型中显著降低,而微状态 B→D 的转换概率增加,反映了其在神经网络动态协调方面的异常。因此,在研究中应充分考虑精神障碍的异质性,以避免结果的偏差。

5. 小结

脑电微状态作为一种新兴的分析方法,在精神障碍的研究中显示出重要的应用前景。它能够揭示大脑在毫秒级时间尺度上的动态功能状态,为精神障碍的早期识别与诊断、跨诊断与共病性研究及治疗效果评估提供了新的视角。然而,脑电微状态分析在实际应用中仍面临诸多挑战,包括聚类算法和标记标准的选择、患者特征以及精神障碍的异质性等,这些问题可能影响其可靠性和有效性,因此在实际研究或应用时都应尽量减少这些因素的干扰。

参考文献

- 郭春彦, 张怡, 丁倩, 王谦, 杨禹欣, 冯晓萱, 王天有(2021). 涉及儿童的临床研究伦理审查指南(北京). *中国临床药理学杂志*, 37(11), 1476-1480.
- 颜蓉(2023). 癫痫共病焦虑抑郁状态患者静息态脑电图的微状态研究. 硕士学位论文, 遵义: 遵义医科大学.
- Al-Fahad, R., & Yeasin, M. (2019). Micro-States Based Dynamic Brain Connectivity in Understanding the Commonality and Differences in Gender-Specific Emotion Processing. In *2019 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* (pp. 1-8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ijcnn.2019.8851990>
- Atluri, S., Wong, W., Moreno, S., Blumberger, D. M., Daskalakis, Z. J., & Farzan, F. (2018). Selective Modulation of Brain Network Dynamics by Seizure Therapy in Treatment-Resistant Depression. *NeuroImage: Clinical*, 20, 1176-1190. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.10.015>
- Britz, J., Van De Ville, D., & Michel, C. M. (2010). BOLD Correlates of EEG Topography Reveal Rapid Resting-State Network Dynamics. *NeuroImage*, 52, 1162-1170. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.02.052>
- Cao, Q., Wang, Y., Ji, Y., He, Z., & Lei, X. (2024). Resting-State EEG Reveals Abnormal Microstate Characteristics of Depression with Insomnia. *Brain Topography*, 37, 388-396. <https://doi.org/10.1007/s10548-023-00949-w>
- Che, Q., Xi, C., Sun, Y., Zhao, X., Wang, L., Wu, K. et al. (2025). EEG Microstate as a Biomarker of Personalized Transcranial Magnetic Stimulation Treatment on Anhedonia in Depression. *Behavioural Brain Research*, 483, Article ID: 115463. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2025.115463>
- Custo, A., Van De Ville, D., Wells, W. M., Tomescu, M. I., Brunet, D., & Michel, C. M. (2017). Electroencephalographic Resting-State Networks: Source Localization of Microstates. *Brain Connectivity*, 7, 671-682. <https://doi.org/10.1089/brain.2016.0476>
- da Cruz, J. R., Favrod, O., Roinishvili, M., Chkonia, E., Brand, A., Mohr, C. et al. (2020). EEG Microstates Are a Candidate Endophenotype for Schizophrenia. *Nature Communications*, 11, Article No. 3089. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16914-1>
- Dalgleish, T., Black, M., Johnston, D., & Bevan, A. (2020). Transdiagnostic Approaches to Mental Health Problems: Current Status and Future Directions. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 88, 179-195. <https://doi.org/10.1037/ccp0000482>
- Damborská, A., Piguet, C., Aubry, J., Dayer, A. G., Michel, C. M., & Berchio, C. (2019). Altered Electroencephalographic Resting-State Large-Scale Brain Network Dynamics in Euthymic Bipolar Disorder Patients. *Frontiers in Psychiatry*, 10, Article No. 826. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2019.00826>

- Ding, X., Li, X., Xu, M., He, Z., & Jiang, H. (2023). The Effect of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Electroencephalography Microstates of Patients with Heroin-Addiction. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 329, Article ID: 111594. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2023.111594>
- Feinstein, A. R. (1970). The Pre-Therapeutic Classification of Co-Morbidity in Chronic Disease. *Journal of Chronic Diseases*, 23, 455-468. [https://doi.org/10.1016/0021-9681\(70\)90054-8](https://doi.org/10.1016/0021-9681(70)90054-8)
- Fingelkurts, A. A., Fingelkurts, A. A., Kivisaari, R., Pekkonen, E., Ilmoniemi, R. J., & Kähkönen, S. (2004). Local and Remote Functional Connectivity of Neocortex under the Inhibition Influence. *NeuroImage*, 22, 1390-1406. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.03.013>
- He, Y., Yu, Q., Yang, T., Zhang, Y., Zhang, K., Jin, X. et al. (2021). Abnormalities in Electroencephalographic Microstates among Adolescents with First Episode Major Depressive Disorder. *Frontiers in Psychiatry*, 12, Article ID: 775156. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.775156>
- Iftimovici, A., Marchi, A., Féat, V., Pruvost-Robieux, E., Guinard, E., Morin, V. et al. (2023). Electroencephalography Microstates Imbalance across the Spectrum of Early Psychosis, Autism, and Mood Disorders. *European Psychiatry*, 66, e41. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2023.2414>
- Ihl, R., & Brinkmeyer, J. (1999). Differential Diagnosis of Aging, Dementia of the Alzheimer Type and Depression with EEG-Segmentation. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 10, 64-69. <https://doi.org/10.1159/000017103>
- Javed, E., Croce, P., Zappasodi, F., & Del Gratta, C. (2020). Normal Aging: Alterations in Scalp EEG Using Broadband and Band-Resolved Topographic Maps. *Frontiers in Physics*, 8, Article No. 82. <https://doi.org/10.3389/fphy.2020.00082>
- Khanna, A., Pascual-Leone, A., Michel, C. M., & Farzan, F. (2015). Microstates in Resting-State EEG: Current Status and Future Directions. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 49, 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.12.010>
- Koenig, T., Lehmann, D., Merlo, M. C. G., Kochi, K., Hell, D., & Koukkou, M. (1999). A Deviant EEG Brain Microstate in Acute, Neuroleptic-Naïve Schizophrenics at Rest. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 249, 205-211. <https://doi.org/10.1007/s004060050088>
- Koenig, T., Prichep, L., Lehmann, D., Sosa, P. V., Braeker, E., Kleinlogel, H. et al. (2002). Millisecond by Millisecond, Year by Year: Normative EEG Microstates and Developmental Stages. *NeuroImage*, 16, 41-48. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1070>
- Lehmann, D., & Skrandies, W. (1980). Reference-Free Identification of Components of Checkerboard-Evoked Multichannel Potential Fields. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 48, 609-621. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(80\)90419-8](https://doi.org/10.1016/0013-4694(80)90419-8)
- Lehmann, D., Faber, P. L., Galderisi, S., Herrmann, W. M., Kinoshita, T., Koukkou, M. et al. (2005). EEG Microstate Duration and Syntax in Acute, Medication-Naïve, First-Episode Schizophrenia: A Multi-Center Study. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 138, 141-156. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2004.05.007>
- Lehmann, D., Ozaki, H., & Pal, I. (1987). EEG Alpha Map Series: Brain Micro-States by Space-Oriented Adaptive Segmentation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 67, 271-288. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(87\)90025-3](https://doi.org/10.1016/0013-4694(87)90025-3)
- Lei, L., Liu, Z., Zhang, Y., Guo, M., Liu, P., Hu, X. et al. (2022). EEG Microstates as Markers of Major Depressive Disorder and Predictors of Response to Sris Therapy. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 116, Article ID: 110514. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2022.110514>
- Luo, N., Luo, X., Yao, D., Calhoun, V. D., Sun, L., & Sui, J. (2021). Investigating ADHD Subtypes in Children Using Temporal Dynamics of the Electroencephalogram (EEG) Microstates. In *2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)* (pp. 4358-4361). IEEE. <https://doi.org/10.1109/embc46164.2021.9630614>
- Luo, Y., Tian, Q., Wang, C., Zhang, K., Wang, C., & Zhang, J. (2020). Biomarkers for Prediction of Schizophrenia: Insights from Resting-State EEG Microstates. *IEEE Access*, 8, 213078-213093. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3037658>
- Michel, C. M., & Koenig, T. (2018). EEG Microstates as a Tool for Studying the Temporal Dynamics of Whole-Brain Neuronal Networks: A Review. *NeuroImage*, 180, 577-593. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.11.062>
- Nagabhushan Kalburgi, S., Whitten, A. P., Key, A. P., & Bodfish, J. W. (2020). Children with Autism Produce a Unique Pattern of EEG Microstates during an Eyes Closed Resting-State Condition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, Article No. 288. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00288>
- Rajkumar, R., Régio Brambilla, C., Veselinović, T., Bierbrier, J., Wyss, C., Ramkiran, S. et al. (2021). Excitatory-Inhibitory Balance within EEG Microstates and Resting-State fMRI Networks: Assessed via Simultaneous Trimodal PET-MR-EEG Imaging. *Translational Psychiatry*, 11, Article No. 60. <https://doi.org/10.1038/s41398-020-01160-2>
- Rodriguez, A., Tuvemo, T., & Hansson, M. G. (2006). Parents' Perspectives on Research Involving Children. *Uppsala Journal of Medical Sciences*, 111, 73-86. <https://doi.org/10.3109/2000-1967-025>
- Tarailis, P., Koenig, T., Michel, C. M., & Griškova-Bulanova, I. (2023). The Functional Aspects of Resting EEG Microstates:

- A Systematic Review. *Brain Topography*, 37, 181-217. <https://doi.org/10.1007/s10548-023-00958-9>
- Thapar, A., Eyre, O., Patel, V., & Brent, D. (2022). Depression in Young People. *The Lancet*, 400, 617-631. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(22\)01012-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(22)01012-1)
- Thirioux, B., Langbour, N., Bokam, P., Wassouf, I., Guillard-Bouhet, N., Wangermez, C. et al. (2023). EEG Microstate Co-Specificity in Schizophrenia and Obsessive-Compulsive Disorder. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 274, 207-225. <https://doi.org/10.1007/s00406-023-01642-6>
- Tomescu, M. I., Rihs, T. A., Rochas, V., Hardmeier, M., Britz, J., Allali, G. et al. (2018). From Swing to Cane: Sex Differences of EEG Resting-State Temporal Patterns during Maturation and Aging. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 31, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2018.04.011>
- Wang, F., Hujjaree, K., & Wang, X. (2021). Electroencephalographic Microstates in Schizophrenia and Bipolar Disorder. *Frontiers in Psychiatry*, 12, Article ID: 638722. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2021.638722>
- World Health Organization (2022). *World Mental Health Report: Transforming Mental Health for All*. <https://www.who.int/teams/mental-health-and-substance-use/world-mental-health-report>
- Yan, D., Liu, J., Liao, M., Liu, B., Wu, S., Li, X. et al. (2021). Prediction of Clinical Outcomes with EEG Microstate in Patients with Major Depressive Disorder. *Frontiers in Psychiatry*, 12, Article ID: 695272. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2021.695272>
- Yuan, H., Zotev, V., Phillips, R., Drevets, W. C., & Bodurka, J. (2012). Spatiotemporal Dynamics of the Brain at Rest—Exploring EEG Microstates as Electrophysiological Signatures of BOLD Resting State Networks. *NeuroImage*, 60, 2062-2072. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.02.031>
- Zhao, L., Zhou, D., Hu, J., He, X., Peng, X., Ma, L. et al. (2023). Changes in Microstates of First-Episode Untreated Nonsuicidal Self-Injury Adolescents Exposed to Negative Emotional Stimuli and after Receiving rTMS Intervention. *Frontiers in Psychiatry*, 14, Article ID: 1151114. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2023.1151114>
- Zhao, Z., Niu, Y., Zhao, X., Zhu, Y., Shao, Z., Wu, X. et al. (2022). EEG Microstate in First-Episode Drug-Naive Adolescents with Depression. *Journal of Neural Engineering*, 19, Article ID: 056016. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ac88f6>