

健康人群睡眠阶段的脑电微状态小型综述

尹德旭

西南大学心理学部, 重庆

收稿日期: 2026年2月1日; 录用日期: 2026年3月2日; 发布日期: 2026年3月11日

摘要

脑电微状态(EEG microstates)作为刻画脑电信号瞬时动态的重要方法,近年来在睡眠研究中逐渐受到关注。本综述整合了使用EEG微状态的有关睡眠阶段的最新研究进展。现有证据表明, A~D四类典型微状态在各个睡眠阶段均可识别,但时间特征随睡眠加深呈现出由快速多变向延长与稳定的转变,其中C、D类微状态对睡眠进程最为敏感。然而,现阶段与“睡眠分期(W/N1/N2/N3/REM)”直接相关的健康人群微状态实证研究数量仍然非常有限,且研究重心显著偏向NREM阶段,REM阶段几乎缺乏可比证据。同时,不同研究在微状态提取流程上存在系统性差异,导致跨研究可比性受限、部分结论仍存在争议。未来亟需通过多模态影像整合、纵向追踪与个体化建模,进一步揭示微状态的神经生理机制,并推动其在睡眠研究中的应用。

关键词

睡眠阶段, 脑电微状态, 睡眠微结构

A Mini Review of EEG Microstate during Sleep Stages in Healthy Individuals

Dexu Yin

Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing

Received: February 1, 2026; accepted: March 2, 2026; published: March 11, 2026

Abstract

EEG microstates, as an important method for characterizing the instantaneous dynamics of EEG signals, have received increasing attention in sleep research in recent years. This review synthesizes the latest advances in studies employing EEG microstate analysis to investigate sleep stages. Current evidence suggests that four canonical microstate classes (A~D) can be consistently identified across different sleep stages, while their temporal characteristics shift from rapid and variable patterns to

more prolonged and stable configurations as sleep deepens, with classes C and D showing the greatest sensitivity to sleep progression. However, empirical studies directly examining EEG microstates across conventional sleep stages (W/N1/N2/N3/REM) in healthy individuals remain scarce, and existing research is predominantly focused on NREM sleep, with a notable lack of comparable evidence for the REM stage. In addition, substantial methodological heterogeneity in microstate extraction pipelines across studies has been observed, which limits cross-study comparability and contributes to ongoing inconsistencies in the findings. Future research should prioritize multimodal imaging integration, longitudinal designs, and individualized modeling to further elucidate the neurophysiological mechanisms underlying EEG microstates and to advance their application in sleep research.

Keywords

Sleep Stages, EEG Microstates, Sleep Microstructure

Copyright © 2026 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

人的一生中有 1/3 的时间都在睡眠中度过，睡眠对于人体健康至关重要。而睡眠不足和睡眠障碍对人体健康有着极大的危害，长期睡眠不足与死亡风险增加有关，同时导致与多种流行病(包括心血管疾病、糖尿病、肥胖症和癌症)相关的个人风险和社会负担[1]。定量脑电图(electroencephalogram, EEG)技术对于睡眠研究意义重大。与其他技术相比，EEG 具有以下优势：首先，EEG 的时间分辨率非常高，通常在毫秒级别，可以捕捉到睡眠心理加工的时间特征。其次，EEG 测量相比于功能磁共振(fMRI)等方法，具有可穿戴便捷的特点，设备便宜且易于操作。第三，相比于其他神经成像的方式，EEG 研究可以更直接的测量神经电活动[2]。EEG 微状态是一种新的脑电特征提取方法，该方法结合了时间和空间维度，相比传统的 EEG 研究，为睡眠 EEG 的特征提供更全面的信息。本研究通过对 EEG 微状态方法在睡眠领域睡眠阶段的研究进行综述，揭示睡眠阶段的微状态特征如何改变以及不同睡眠阶段之间的独特微状态特征。

睡眠并不是一个同质的过程，具有不同特征的睡眠阶段结合起来，才会形成完整的睡眠过程。首先，从临床诊断与治疗的角度来看，准确识别和理解不同睡眠阶段的特征对于诊断和治疗各种睡眠障碍至关重要。例如，睡眠-觉醒周期相关疾病，如发作性睡病和快速眼动睡眠行为障碍，其诊断和治疗也依赖于对睡眠阶段模式的分析[3] [4]。其次，理解睡眠的生理功能是探究不同睡眠阶段的另一个重要原因。睡眠对大脑的可塑性、学习和记忆功能至关重要，是人类意识的关键调节因素，有助于维持大脑和身体的生理稳态[5] [6]。目前一些研究者对于睡眠阶段的研究表明了不同睡眠阶段的基本特征，N1 阶段脑电活动通常以 alpha 波(8~13 Hz)和 theta 波(4~8 Hz)为主，可能出现顶尖波(Vertex Waves)，慢眼动(SEMs)通常出现在早期 N1 阶段；N2 阶段出现睡眠纺锤波和/或 K-复合体，持续时间超过 0.5 秒，不出现眼动；N3 阶段以 2 Hz 或更慢的 delta 活动占 20%~50%，振幅大于 75 μ V；REM 时期脑电活动与 NREM 睡眠相比，更接近清醒时的脑电模式，以低幅、快速的 alpha 波和 beta 波为主，具有低电压、混合频率的 EEG 活动，快速且不规则的眼球运动，肌电图(EMG)的显著降低等等特征[7] [8]。

EEG 微状态是 Dietrich Lehmann 等人在 1987 年发表的一篇题为“EEG alpha map series: brain microstates by space-oriented adaptive segmentation”的论文中提出的分析方法。通过观察静息态 α 频段的头表

电压地形图, 他们发现其空间分布随着时间的变化并不是随机或连续的, 它们总是在一定时间内(80~120 ms)保持相对的稳定性。并且 alpha 频段可以被分为四个不同的状态, 即微状态 A、B、C 和 D。Britz 采用同步 EEG-fMRI 发现, 在静息状态下, A 类微状态是与语言处理相关的网络, 涉及双侧的颞上回和中颞回以及左侧额中回; B 类微状态是与视觉图像处理相关的网络, 涉及双侧的外纹状视觉区域, 包括双侧的下枕回、楔叶和左侧的舌回及中枕回; C 类微状态是与突显性网络相关的, 涉及前扣带皮层(ACC)以及双侧额下回; D 类微状态是与注意力定向相关的背侧网络, 主要在右侧, 包括右侧的额上回和中回以及右侧的顶上小叶和顶下小叶[9]。某一状态在持续一定时间后迅速转为另一状态[10]。这些在一定时间内保持相对稳定状态并迅速转换的拓扑结构是大脑在应对刺激、处理信息时工作加工的反映。微状态分析同时考虑来自所有电极的信号, 以创建一个功能状态的全局表示, 可以反映大脑整体功能状态[11]。许多研究已经表明, 随着意识状态[12] [13]、人格类型[14]和神经精神障碍[15]-[17]的变化, 微状态时间特征也会发生相应变化, EEG 微状态为解码大脑的神经活动提供了有效手段。

本综述系统梳理了睡眠阶段中 EEG 微状态的共性与差异, 并探讨了结果不一致的根源, 为睡眠-觉醒调控提供了基于大规模脑网络动态的解释框架。

2. 方法

2.1. 检索策略

本研究遵循了系统综述和荟萃分析首选报告项目 PRISMA 指南[18]。

以“sleep”和“EEG microstate”为关键词在 Web of science、PubMed、Elsevier 数据库中进行检索。以“睡眠”和“脑电微状态”为关键词在中国知网、万方数据平台检索, 没有发表日期限制。并阅读相关文章的参考文献, 以识别尽可能多的潜在研究。

2.2. 文献筛选

本研究纳入标准为: 1) 研究对象为健康人群(未报告临床睡眠障碍或重大躯体/精神疾病的非临床样本); 2) 在清醒、睡眠状态下进行静息态脑电数据采集, 并进行微状态分析, 结果包括 A、B、C、D 四类及以上微状态种类, 同时提供三种及以上微状态参数数据; 微状态的主要参数包括覆盖率(Coverage, Cov), 发生率(Occurrence, Ocu), 平均持续时间(Duration, Dur), 转移概率(Transition Probability, TP), 总体解释方差(Global Explained Variance, GEV)。其中, 覆盖率是指每个微状态类别所覆盖的总分析时间百分比; 发生率是指每个微状态类别每秒观察到的微状态数量; 平均持续时间是指给定类别的微状态的平均持续时间; 转移概率, 即在单位时间内从一个特定微状态类型转换到另一个微状态类型的相对频率; 总体解释方差表示微状态在整体 EEG 数据中解释的方差比例。较高的 GEV 值意味着该微状态在 EEG 数据中占据更大的贡献, 反映了该微状态在脑电活动中的重要性[19]。3) 经过同行评审; 4) 实证研究; 5) 中文或英文文献。

2.3. 符合条件的研究概述

在检索到的 586 篇文献中, 确定了 5 项符合条件的研究, 并在综述中进行了讨论。睡眠阶段的 5 项研究聚焦夜间睡眠的 NREM 阶段特征, 所有研究都报告了最少三种的微状态特征, 大部分研究倾向报告持续时间、覆盖率、发生率、转移概率和总体解释方差, 少数研究报告了其他特征如全局场功率峰值频率(PPS)等。

3. 结果

已有证据表明, 尽管 A~D 四类典型微状态在各睡眠阶段均可识别, 但其时间学特征和动态模式会随

着睡眠加深而系统性改变：由清醒期的快速多变逐渐转向 NREM 睡眠中的延长、稳定与节律性减慢[20][21]。进一步的研究结合 EEG-fMRI 显示，N3 阶段不同微状态还与特定功能网络相耦合，提示微状态不仅反映全脑同步化水平，也揭示了睡眠过程中功能分化的保留[22]。然而，目前仍缺乏针对 REM 阶段的系统性微状态研究，这使得我们对 REM 期特有的快速眼动及其相关认知功能背后的微状态机制知之甚少。需要强调的是：现有研究不仅数量少，而且多为横断面、小样本设计；并且在 N2 阶段是否纳入/剔除 K-complex 与纺锤波、是否做平滑与最短段剔除等处理上缺少统一报告规范，因此现阶段更适合将结论表述为趋向性证据而非定论。总体而言，这些发现为我们理解睡眠阶段的神经机制及其与意识和认知功能的关系提供了新的视角。

Table 1. Included in the literature review

表 1. 纳入文献概述

研究	健康人群样本量(女)	年龄(平均值 ± 标准差/年龄范围)	处理参数	主要发现
Brodbeck <i>et al.</i> , 2012 [20]	32 (20)	23 (19~31)	滤波：高通 1 Hz (去除<1 Hz 极慢成分) 聚类：按睡眠分期分别聚类，每个睡眠阶段组水平最优为 4 类；在 GFP 峰处取拓扑并回填到个体序列 时序参数：未说明	健康成年人在清醒(Wake)、N1、N2、N3 阶段中，A、B、C、D 类微状态持续时间均随睡眠加深逐步延长，N3 阶段延长最显著，且各阶段内不同微状态的持续时间存在差异。 清醒状态(Wake)：C 类持续时间最长。 N1 阶段：与清醒状态无显著差异，仍为 C 类持续时间最长。 N2 阶段：较清醒和 N1 显著延长，B 类持续时间最长。 N3 阶段：较所有前序阶段(Wake、N1、N2)显著延长，C 类持续时间最长。
Comsa <i>et al.</i> , 2019 [23]	16 (6)	24 ± 2.75	滤波：1~40 Hz 聚类：在个体层面聚类得到 4 个典型微状态(A-D) 时序参数：邻域平滑 20 ms；并设定最短持续时间 = 5 个采样点；忽略极性	健康年轻成年人在“响应期(清醒警觉)”与“无响应期(困倦导致的 N1 为主的无意识状态)”中，A、B、C、D 类微状态持续时间均显著延长，其中 D 类微状态延长最为突出。 无响应期(困倦无意识，以 N1 睡眠为主)比响应期(清醒警觉)： A、B、C 和 D 类持续时间均显著延长，且 D 类延长幅度最显著，成为该阶段持续时间最长的微状态。
Xu <i>et al.</i> , 2020 [22]	24 (12)	21.46 ± 2.96	滤波：0.5~20 Hz 聚类：k-means 时序参数：未说明	健康成年人在慢波睡眠(N3 阶段)中，其中 C 类微状态持续时间最长(约 63 ms)，A 类最短(约 46 ms)。
Bréchet <i>et al.</i> , 2020 [24]	37 (23)	44 ± 13.3	滤波：1~50 Hz 聚类：k-means 时序参数：未说明	基于 N2 唤醒比较 DE(有梦体验)vsNE(无梦体验)，梦体验更可能出现在 D 类显著减少、C 类显著增加的时段。
Wiemers <i>et al.</i> , 2024 [21]	32 (20)	23 (19~27)	滤波：0.5~20 Hz 聚类：微状态图谱与睡眠/清醒阶段的相似性比较；报告睡眠与清醒图谱总体相似度 ≥ 80% 时序参数：AIF 峰检验采用窗口半宽 $w = 8$ ms (2 采样点)	从 W→N3：微状态平均时长增加，信息熵率/谱隙下降(动力学变慢)。 N1：组平均 PSD/ACF/AIF 无清晰峰，提示网络层面周期性基本丧失 N2：整体无明显峰，但孤立睡眠纺锤段出现与纺锤频率相关的周期性微状态。

注：W：闭眼清醒；N1/N2/N3：NREM 1/2/3 期；REM：快速眼动睡眠。GFP：Global Field Power；常用在 GFP 峰处提取稳定拓扑进入聚类。AIF：autoinformation function(微状态序列自信息函数，用于周期性/频率特征检验)。

表 1 展示了综述纳入文献的样本量、年龄、微状态分析的具体参数：滤波范围、聚类方法、时序参数), 以及各睡眠阶段的主要发现。

对于睡眠阶段的 EEG 微状态研究, 目前大多依据美国睡眠医学会(AASM)的分期标准, 将 NREM 划分为浅睡眠(N1、N2)和深睡眠(N3) [25]。整体来看, 微状态特征随睡眠加深呈现出由快速、多变向延长与稳定的系统性转变。

在 N1 阶段, 现有研究普遍发现其微状态时间特征与清醒状态较为接近[21], 空间地形也高度相似 [20]。相较于清醒期, C 类微状态在 N1 阶段的总体解释方差和覆盖率有所增加[20]。同时, D 类微状态被认为是浅睡眠的重要指征, 其拓扑由清醒时较为明确的枕-额偶极分布转变为更圆对称、前后区分度降低的形态[21]。Comsa 等(2019)通过比较按键任务中的可反应期与不可反应期发现, 不可反应期多伴随 N1 状态, 相较于清醒可反应期, D 类微状态的持续时间、覆盖率及总体解释方差均显著增加, 而 B 类的覆盖率和总体解释方差显著下降。鉴于 D 类微状态与注意切换及外部注意网络相关[9], 该结果提示自然入睡 N1 与任务情境下不可反应期 N1 在微状态层面具有一定差异, 为将微状态视为意识状态的潜在神经内表型提供了支持[26]。

相比之下, N2 阶段关于“优势微状态类别”的结论仍存在分歧。Brodbeck 等报告 N2 中 B 类微状态在持续时间、覆盖率和 GEV 上较高, 而 Wiemers 等则更倾向于观察到 C 类在多状态中的整体优势。这种不一致不仅源于样本和分期差异, 更与微状态提取算法对睡眠瞬态波形(如纺锤波、K-复合体和慢波)的敏感性有关。从方法学角度看, 经典 k-means (含 modified k-means)通过最小化类内方差提取最常见拓扑原型, 但在 N2 中若不区分瞬态事件, 事件相关拓扑可能被“平均化”进某一类别, 或在 GFP 峰抽样条件下被高幅事件所牵引, 从而使“优势类别”更偏向事件驱动而非阶段基线[27]。相较之下, TAAHC 作为层次聚类方法, 更有利于分离多尺度拓扑结构, 可能在一定程度上区分“事件拓扑”与“基线拓扑”, 但其结果对噪声、预处理及类数截断较为敏感。基于概率模型的 GMM 则允许软分配, 更贴近睡眠过渡期可能存在的拓扑混合, 但在高维空间中也面临过拟合风险。因而, N2 阶段本质上是“基线动力学与瞬态事件并存”的状态, 不同算法及分析管线对事件成分权重的差异, 可能导致“主导微状态”结论的系统性偏移。基于此, 未来研究宜结合事件检测, 将 N2 细分为纺锤波段、K-复合体段、慢波段及基线段分别分析, 并同时报告 GFP 峰抽样与逐点回拟合两种管线结果, 同时统一关键参数(如滤波、类数选择、平滑窗口和最短持续时间阈值), 以提高结果的可重复性[28] [29]。因此, N2 阶段结论的不一致更可能反映方法学差异而非真实神经机制的对立[21]。

在 N3 阶段, 现有研究结果相对一致。多项研究表明, 与清醒静息相比, 慢波睡眠中微状态持续时间显著延长、动态变化减慢且序列稳定性增强, 而 A-D 类微状态的空间拓扑整体保持稳定。Brodbeck 等(2012)发现 N3 中微状态持续时间显著增加, 且 C 类在总体解释方差和覆盖率上最为突出, 提示全脑同步化增强。Wiemers 等(2024)进一步指出, N3 阶段微状态序列明显变慢, 并与 δ 波节律(约 3 Hz)呈耦合关系, 表现出更强的可预测性及延长的马尔可夫动力学松弛时间, 提示慢波振荡在塑造微状态动力学中的主导作用。Xu 等(2020)结合 EEG-fMRI 也证实 N3 阶段以 C 类微状态为主。上述结果共同表明, N3 睡眠不仅表现为更慢、更稳定的微状态序列, 同时仍保留与特定功能网络的选择性对应关系, 反映了深睡眠中全脑同步化增强与功能分化残留之间的平衡。

总体而言, 不同睡眠阶段的 EEG 微状态在时间动力学上呈现连续而有序的变化: N1 阶段整体接近清醒但 C 类覆盖率增加、D 类拓扑趋于对称; N2 阶段结果存在分歧, 可能与睡眠纺锤等瞬态事件及分析方法差异密切相关; 进入 N3 阶段后, 微状态持续时间延长、动态减慢且稳定性增强, 其中 C 类表现出更为突出的主导趋势。随着睡眠加深, 微状态由快速多变逐渐过渡为低频稳定模式, 提示大脑由外部导向的动态加工转向以内源同步活动为主的状态。然而, 目前针对 REM 睡眠阶段的微状态研究仍明显不

足，限制了对完整睡眠周期微状态动态特征的系统理解。

4. 讨论

综合既往研究，C类与D类微状态对睡眠阶段转换最为敏感，在觉醒延长及睡眠进程过渡中均呈现显著变化，反映了睡眠-觉醒过程中脑功能状态的动态重组。已有研究一致表明，四类典型微状态(A-D)在清醒静息期均可稳定识别，其时间学特征随睡眠加深呈现系统性改变，即由清醒期的快速转换逐渐过渡为NREM阶段的延长、稳定与节律性减慢[20]。其中，C类微状态与NREM阶段关系最为密切，可能参与显著性与执行控制相关的资源调配；D类微状态则与注意切换及梦境相关过程有关，在浅睡及意识过渡状态中更为突出。相较之下，A、B类微状态主要对应感觉相关加工，在深睡期活动减少，这与外界感觉输入受抑制的生理特点相一致。值得注意的是，N3阶段微状态序列与 δ 波节律呈耦合关系[21]，提示慢波振荡不仅调控局部神经活动，也在宏观层面促进微状态的稳定化与同步化，反映出皮层-丘脑环路的同步增强，这一过程被认为与恢复性睡眠及记忆巩固密切相关。

从机制层面看，睡眠-觉醒转换伴随显著的神经调质重配置。胆碱能(ACh)与去甲肾上腺素能(NE)系统对皮层兴奋性、感觉门控及丘脑-皮层节律具有关键调节作用。既往研究显示，皮层ACh在清醒和REM阶段较高，而在NREM阶段最低；蓝斑核(LC)NE在清醒期最活跃，进入NREM后下降，并在REM阶段接近沉默[30]。将这一调质模式与微状态动力学相结合，可对既有结果作出一致性解释：首先，从清醒到N1/N2/N3阶段，ACh与NE水平的整体下降降低了去同步化驱动与外源输入权重，使脑活动趋于同步和低维稳定轨道，表现为微状态持续时间延长、切换速率下降及序列复杂度降低，这与N3阶段“更慢、更稳定、更可预测”的特征相一致[28]。其次，N2阶段以纺锤波和丘脑门控为主要特征，而LC-NE系统对丘脑节律具有调节作用，NE的波动可能导致“事件驱动的周期性微状态”与“基线微状态动力学”交替出现，从而解释Wiemers等所观察到的纺锤相关周期性现象[31]。再次，REM阶段呈现高ACh、低NE的独特调质组合，对应皮层激活与梦体验增强，因此可推测其微状态动力学可能更接近清醒模式，或表现出C、D类相关动态偏移，但这一推论仍缺乏整夜REM数据的直接验证[30]。

基于上述证据，未来研究不应仅停留在“微状态-fMRI网络”的对应关系，而应构建“调质-丘脑皮层节律-微状态动力学”的整合框架，将持续时间、发生率、转移结构及熵率等时序指标纳入统一分析体系，并结合药理操控、瞳孔/LC指标及MRS或PET等手段进行机制检验。在此基础上，研究可进一步从三个方面深化：其一，现有证据主要集中于NREM阶段，亟需系统开展REM睡眠微状态研究，以完善完整睡眠周期的动态图景；其二，借助PET、MRS等分子影像技术，从神经递质与丘脑-皮层环路层面阐释微状态变化的生理基础；其三，通过EEG-fMRI、EEG-MEG等多模态与跨尺度整合，揭示局部振荡如何塑造宏观微状态序列。同时，纳入年龄、性别等个体差异并结合机器学习构建个体化模型，将有助于提升微状态指标在睡眠机制研究及临床转化中的应用潜力。

5. 优势与局限性

本综述系统梳理了睡眠阶段中EEG微状态的研究进展，优势在于首次将不同研究维度进行整合，揭示了C、D类微状态在睡眠动态和觉醒调控中的敏感性。这不仅为理解睡眠相关大尺度脑网络的时空重组提供了新的视角，也为微状态作为电生理标志物在临床诊断和干预监测中的应用奠定了理论基础。

然而，目前研究仍存在一些局限性。首先，本综述纳入的文献数量相对有限(仅5项研究)，这在一定程度上反映了睡眠分期(W/N1/N2/N3/REM)框架下健康人群EEG微状态研究本身的文献储备较为稀缺；其次，方法学差异显著，如是否基于GFP峰值聚类、是否平滑、回拟合方式不同，导致跨研究结果缺乏一致性。此外，微状态研究对参数设置高度敏感(聚类算法、模板生成策略、回拟合策略、GFP峰抽样与

否、平滑窗口/最短持续时间阈值等均可改变时序指标与“主导”类别判断), 而睡眠 EEG 又包含大量阶段特异的瞬态波形(纺锤波、K-复合体、慢波及其耦合), 若不进行事件感知(event-aware)的分层分析, 容易把“阶段基线动力学”与“事件驱动动力学”混在一起, 从而放大跨研究差异。第三, 现有工作更多集中于 NREM 期, 对 REM 睡眠及其在情绪和认知功能中的作用缺乏系统性探讨。第四, 样本量普遍较小, 且多为横断面设计, 缺少纵向追踪和干预验证, 限制了因果推断和临床转化价值。最后, 目前研究主要停留在时空参数层面, 缺乏与神经递质系统、丘脑-皮层环路及大尺度功能网络的跨模态整合, 使得微状态背后的生理机制解释仍不够深入。

总体而言, 现有研究已为睡眠相关微状态特征提供了初步证据, 但在机制探讨、临床应用和方法学统一性上仍需进一步发展。

6. 结论

EEG 微状态为揭示睡眠过程中脑电变化的动态重组提供了独特视角。现有研究表明, C、D 类微状态在睡眠阶段转变中最为敏感, 其变化反映了显著性网络与注意控制网络在不同状态下的失衡与代偿。然而, 方法学差异、REM 期研究不足及缺乏纵向验证仍限制了结论的普适性。未来, 结合多模态影像和个体化建模的研究, 将有助于推动微状态在睡眠研究中的转化价值。

参考文献

- [1] Luyster, F.S., Strollo, P.J., Zee, P.C. and Walsh, J.K. (2012) Sleep: A Health Imperative. *Sleep*, **35**, 727-734. <https://doi.org/10.5665/sleep.1846>
- [2] Luo, Y., Tian, Q., Wang, C., Zhang, K., Wang, C. and 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>
- [3] Högl, B. and Stefani, A. (2016) REM Sleep Behavior Disorder (RBD): Update on Diagnosis and Treatment. *Somnologie*, **21**, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11818-016-0048-6>
- [4] Neikrug, A.B. and Ancoli-Israel, S. (2012) Diagnostic Tools for REM Sleep Behavior Disorder. *Sleep Medicine Reviews*, **16**, 415-429. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2011.08.004>
- [5] Xie, L., Kang, H., Xu, Q., Chen, M.J., Liao, Y., Thiyagarajan, M., et al. (2013) Sleep Drives Metabolite Clearance from the Adult Brain. *Science*, **342**, 373-377. <https://doi.org/10.1126/science.1241224>
- [6] Zisapel, N. (2007) Sleep and Sleep Disturbances: Biological Basis and Clinical Implications. *Cellular and Molecular Life Sciences*, **64**, 1174-1186. <https://doi.org/10.1007/s00018-007-6529-9>
- [7] Erwin, C.W., Somerville, E.R. and Radtke, R.A. (1984) A Review of Electroencephalographic Features of Normal Sleep. *Journal of Clinical Neurophysiology*, **1**, 253-274. <https://doi.org/10.1097/00004691-198407000-00001>
- [8] He, Y., Yan, Z., Zhang, W., Dong, J. and Yan, H. (2023) Network Controllability Analysis of Awake and Asleep Conditions in the Brain. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, **24**, 458-462. <https://doi.org/10.1631/jzus.b2200393>
- [9] Britz, J., Van De Ville, D. and 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>
- [10] Lehmann, D., Ozaki, H. and 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)
- [11] Groppe, D.M., Bickel, S., Keller, C.J., Jain, S.K., Hwang, S.T., Harden, C., et al. (2013) Dominant Frequencies of Resting Human Brain Activity as Measured by the Electroencephalogram. *NeuroImage*, **79**, 223-233. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.04.044>
- [12] Diezig, S., Denzer, S., Achermann, P., Mast, F.W. and Koenig, T. (2022) EEG Microstate Dynamics Associated with Dream-Like Experiences during the Transition to Sleep. *Brain Topography*, **37**, 343-355. <https://doi.org/10.1007/s10548-022-00923-y>
- [13] Wang, H., Wang, Y., Zhang, Y., Dong, Z., Yan, F., Song, D., et al. (2021) Differentiating Propofol-Induced Altered States of Consciousness Using Features of EEG Microstates. *Biomedical Signal Processing and Control*, **64**, Article ID: 102316. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.102316>

- [14] Schlegel, F., Lehmann, D., Faber, P.L., Milz, P. and Gianotti, L.R.R. (2011) EEG Microstates during Resting Represent Personality Differences. *Brain Topography*, **25**, 20-26. <https://doi.org/10.1007/s10548-011-0189-7>
- [15] Al Zoubi, O., Mayeli, A., Tsuchiyagaito, A., Misaki, M., Zotev, V., Refai, H., *et al.* (2019) EEG Microstates Temporal Dynamics Differentiate Individuals with Mood and Anxiety Disorders from Healthy Subjects. *Frontiers in Human Neuroscience*, **13**, Article 56. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00056>
- [16] de Bock, R., Mackintosh, A.J., Maier, F., Borgwardt, S., Riecher-Rössler, A. and Andreou, C. (2020) EEG Microstates as Biomarker for Psychosis in Ultra-High-Risk Patients. *Translational Psychiatry*, **10**, Article No. 300. <https://doi.org/10.1038/s41398-020-00963-7>
- [17] Terpou, B.A., Shaw, S.B., Théberge, J., Férat, V., Michel, C.M., McKinnon, M.C., *et al.* (2022) Spectral Decomposition of EEG Microstates in Post-Traumatic Stress Disorder. *NeuroImage: Clinical*, **35**, Article ID: 103135. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2022.103135>
- [18] Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., *et al.* (2021) Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, **74**, 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- [19] Lian, H., Li, Y. and Li, Y. (2021) Altered EEG Microstate Dynamics in Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's Disease. *Clinical Neurophysiology*, **132**, 2861-2869. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2021.08.015>
- [20] Brodbeck, V., Kuhn, A., von Wegner, F., Morzelewski, A., Tagliazucchi, E., Borisov, S., *et al.* (2012) EEG Microstates of Wakefulness and NREM Sleep. *NeuroImage*, **62**, 2129-2139. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.05.060>
- [21] Wiemers, M.C., Laufs, H. and von Wegner, F. (2023) Frequency Analysis of EEG Microstate Sequences in Wakefulness and NREM Sleep. *Brain Topography*, **37**, 312-328. <https://doi.org/10.1007/s10548-023-00971-y>
- [22] Xu, J., Pan, Y., Zhou, S., Zou, G., Liu, J., Su, Z., *et al.* (2020) EEG Microstates Are Correlated with Brain Functional Networks during Slow-Wave Sleep. *NeuroImage*, **215**, Article ID: 116786. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116786>
- [23] Comsa, I.M., Bekinschtein, T.A., Chennu, S., *et al.* (2019) Transient Topographical Dynamics of the Electroencephalogram Predict Brain Connectivity and Behaviour during Drowsiness. *NeuroImage*, **199**, 83-94.
- [24] Bréchet, L., Brunet, D., Perogamvros, L., Tononi, G. and Michel, C.M. (2020) EEG Microstates of Dreams. *Scientific Reports*, **10**, Article No. 17069. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74075-z>
- [25] Ramar, K., Malhotra, R., Carden, K. *et al.* (2021) Sleep Is Essential to Health: An American Academy of Sleep Medicine Position Statement. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, **17**, 2115-2119. <https://doi.org/10.5664/jcsm.9476>
- [26] Liuzzi, P., Mannini, A., Hakiki, B., Campagnini, S., Romoli, A.M., Draghi, F., *et al.* (2024) Brain Microstate Spatio-Temporal Dynamics as a Candidate Endotype of Consciousness. *NeuroImage: Clinical*, **41**, Article ID: 103540. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2023.103540>
- [27] Poulsen, A.T., Pedroni, A., Langer, N., *et al.* (2018) Microstate EEGlab Toolbox: An Introductory Guide. bioRxiv. <https://doi.org/10.1101/289850>
- [28] Eban-Rothschild, A., Appelbaum, L. and de Lecea, L. (2017) Neuronal Mechanisms for Sleep/Wake Regulation and Modulatory Drive. *Neuropsychopharmacology*, **43**, 937-952. <https://doi.org/10.1038/npp.2017.294>
- [29] von Wegner, F., Knaut, P. and Laufs, H. (2018) EEG Microstate Sequences from Different Clustering Algorithms Are Information-Theoretically Invariant. *Frontiers in Computational Neuroscience*, **12**, Article 70. <https://doi.org/10.3389/fncom.2018.00070>
- [30] Watson, C.J., Baghdoyan, H.A. and Lydic, R. (2010) Neuropharmacology of Sleep and Wakefulness. *Sleep Medicine Clinics*, **5**, 513-528. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2010.08.003>
- [31] Stokes, P.A., Rath, P., Possidente, T., He, M., Purcell, S., Manoach, D.S., *et al.* (2022) Transient Oscillation Dynamics during Sleep Provide a Robust Basis for Electroencephalographic Phenotyping and Biomarker Identification. *Sleep*, **46**, zsac223. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsac223>