

从“单模态指标”到“多模态路径”：人工智能辅助下的DEACMP睡眠障碍中西医协同检验路径优化框架设计

刘磊 张越超*

(吉林市化工医院 职业病中毒科 132021)

【摘要】急性一氧化碳中毒迟发性脑病(DEACMP)患者普遍存在睡眠结构紊乱问题,但当前临床检验路径高度依赖单一脑电指标,难以全面捕捉疾病全貌。本文提出一个理论框架,在人工智能辅助下将DEACMP睡眠障碍检验模式从“单模态指标”升级为“多模态路径”。该框架以中西医协同为整合逻辑,以多模态数据融合为核心技术手段,系统整合中医四诊信息与现代睡眠监测生理信号,构建多层次、多维度、动态可循的检验路径。本文从理论基础、技术基础、框架设计与实施策略四个层面展开论述,论证该框架在理论层面的合理性与创新价值。

【关键词】DEACMP; 睡眠障碍; 多模态数据融合; 中西医协同; 人工智能

From "Single-Modality Indicators" to "Multimodal Pathways": A Framework for Optimizing the Integrated Traditional Chinese and Western Medicine Diagnostic Pathway for DEACMP Sleep Disorders Assisted by Artificial Intelligence

Liu Lei Zhang Yuechao*

(Department of Occupational Poisoning, Jilin Chemical Hospital 132021)

[Abstract] Patients with acute carbon monoxide poisoning-associated delayed encephalopathy (DEACMP) commonly exhibit sleep structure disturbances. However, current clinical diagnostic pathways rely heavily on single electroencephalographic (EEG) indicators, failing to comprehensively capture the full spectrum of the disease. This paper proposes a theoretical framework that upgrades the diagnostic approach for DEACMP sleep disorders from "single-modality indicators" to "multimodal pathways" with the assistance of artificial intelligence. The framework integrates traditional Chinese and Western medicine as its unifying logic, employs multimodal data fusion as its core technical approach, and systematically combines information from the four diagnostic methods of traditional Chinese medicine with modern sleep monitoring physiological signals to establish a multi-level, multi-dimensional, and dynamically actionable diagnostic pathway. The paper elaborates on the theoretical foundation, technical basis, framework design, and implementation strategies, demonstrating the rationality and innovative value of this framework at the theoretical level.

[Key words] DEACMP; sleep disorders; multimodal data fusion; integrated traditional Chinese and Western medicine; artificial intelligence

引言

急性一氧化碳中毒迟发性脑病 DEACMP 作为一种以脑白质广泛脱髓鞘及基底节区损害为病理基础的中毒性脑病,其睡眠障碍具有临床表现隐匿、分型复杂、与认知功能恶化高度耦合等特征^[1-2]。然而,现行临床检验仍以多导睡眠图中的脑电图单一模态为主要依据,这种“单模态指标”模式在反映全脑功能状态方面存在根本性局限。中医学对不寐的辨证论治具有整体观优势,现代睡眠医学则在神经电生理量化方面高度精准,两者本应形成互补,但实践中长期处于割裂状态^[3-4]。人工智能技术,尤其是多模态深度学习与知识融合方法,为弥合这一鸿沟提供了全新可能。本文尝试构建一个将中西医协同理念嵌入多模态数据融合框架的检验路径优化方案,以期 DEACMP 睡眠障碍的精准检验提供新的理论图景。

1. DEACMP 睡眠障碍检验的既有困境与范式转换需求

1.1 “单模态指标”模式及其内在局限

现行 DEACMP 睡眠障碍检验以多导睡眠图中的脑电信号作为核心甚至是唯一的客观指标来源,本质上属于一种单模态范式。EEG 能够记录皮层神经元的同步电活动,在睡眠分期识别中具有不可替代的价值,且 DEACMP 患者的 EEG 异常程度与病情进展存在平行关系。然而,单模态检验的根本缺陷在于:睡眠是一个多中枢、多系统协同运作的复杂生理过程,单凭皮层电活动无法完整表征脑干、丘脑、基底节等皮层下结构的睡眠调节功能。DEACMP 恰恰以皮层下白质及基底节区损害为突出特征,EEG 作为反映皮层功能的间接指标,对皮层下病变的敏感性天然受限。

1.2 DEACMP 睡眠障碍的多系统受累特征

DEACMP 的病理过程涉及大脑皮质、白质、丘脑及基

底节等多个层面,这意味着其睡眠障碍必然表现为多系统的功能紊乱。从现代医学视角看, DEACMP 患者不仅存在皮层电活动异常,还可能合并呼吸中枢驱动异常、自主神经功能紊乱及运动障碍相关的睡眠事件增多。阻塞性睡眠呼吸暂停的发生报告提示呼吸调控通路受损的可能路径。这一复杂性意味着,任何单一检验指标都无法全面反映疾病的真实演进状态。

1.3 中西医学在睡眠检验中的认识差异与协同基础

中西医学对睡眠的认识存在结构性差异。现代睡眠医学以神经环路、神经递质及电生理节律为核心解释框架,检验路径围绕这些客观指标展开。中医学则将睡眠视为阴阳消长、气血运行及脏腑协调的整体功能体现,对不寐的辨证需综合望闻问切四诊信息,涉及心、肝、脾、肾等多脏腑的功能状态评估^[5-6]。二者并非对立,而是分别从不同尺度和视角切入同一生理现象。在 DEACMP 的背景下,皮层下白质损害可理解为中医“痰瘀阻络”或“髓海空虚”的病理体现,而睡眠结构的崩解则可视为“阴阳失交”的具体表现。这种认识论上的差异恰恰构成了相互补充的基础。

2. 多模态数据融合的技术基础与 DEACMP 适配性分析

2.1 睡眠监测中的多模态信号类型及其生理内涵

睡眠监测的多模态信号体系已经形成较为成熟的技术架构。脑电提供睡眠分期的基础依据;眼电辅助 REM 期识别;肌电揭示快速眼动期的肌张力特征;心电尤其是心率变异性反映自主神经功能的夜间变化模式;呼吸信号捕捉呼吸中枢功能及上气道通畅状态;体动信号反映夜间运动事件及其与睡眠微觉醒的关联。不同模态信号的组合可以揭示不同层面的睡眠调节功能完整性。DEACMP 患者各系统的受累程度不一,多模态信号的综合获取有助于构建完整的睡眠功能画像。

2.2 多模态数据融合的技术路径与进展情况

近年来,基于深度学习技术的多模态睡眠数据融合方法取得了显著进展。传统机器学习方法依赖人工设计的特征提取流程,而深度神经网络能够从原始多模态信号中自动学习层次化表征。已有研究表明,EEG 与 ECG 双模态融合可提升睡眠分期的整体准确性,而在 N1 等过渡期的识别改善尤为明显。注意力机制的引入使模型能够根据不同模态在当前睡眠阶段的贡献动态调整权重分配,进一步提升了融合效率。此外,针对多源传感器数据的时间对齐和缺失值处理技术也日趋成熟,为真实临床环境中的多模态应用提供了技术储备。

2.3 多模态框架对 DEACMP 特异性的适配考量

DEACMP 睡眠障碍检验的多模态设计需要针对疾病特性进行专门适配。鉴于 DEACMP 以白质损害为主要病理基

础,皮层与皮层下结构之间的功能连接可能被广泛破坏,因此在 EEG 之外,心率变异性所反映的脑心交互状态、呼吸模式所呈现的脑干与皮层下行投射功能具有特殊价值。同时,鉴于运动障碍是 DEACMP 的核心临床特征之一,夜间肌电及体动信号的精细化分析可能揭示 REM 期行为障碍等特殊病理模式。多模态框架的 DEACMP 适配还应考虑到智能模型对数据缺失的耐受能力——DEACMP 患者因认知功能及配合能力下降,检验过程中信号脱落的风险显著增高。

3. 人工智能辅助的中西医协同检验路径优化框架设计

3.1 框架的总体结构与核心理念

本框架以“两条主线、一个交汇点”作为核心架构。两条主线分别为现代睡眠医学检验路径与中医辨证检验路径,二者分别以多模态生理信号为数据载体、以四诊信息的结构化采集为数据载体。交汇点为一个嵌入人工智能融合引擎的中西医协同决策单元,负责完成多源数据的整合分析与关联映射。总体理念可概括为:以多模态数据融合为技术底座,以中西医协同为整合逻辑,以 AI 的动态优化能力为驱动引擎,实现从碎片化单模态指标到系统性多模态路径的根本转变。

3.2 现代医学多模态检验子路径的 AI 化设计

现代医学检验子路径以多导睡眠图技术为基础框架,但在 AI 辅助下实现三个层面的功能升级。第一层面为自动睡眠分期,利用深度神经网络对 EEG、EOG、EMG 等多通道信号进行端到端的分期识别,替代人工逐帧评分。第二层面为多模态特征提取与对齐,系统同步从心率变异性、呼吸信号、血氧饱和度及体动信号中提取与睡眠微观结构相关的特征参数,并与睡眠分期结果在时间轴上进行精密对齐。第三层面为异常模式检测,采用无监督或半监督学习方法识别不符合常规睡眠模式的特殊微结构异常,这些模式可能是 DEACMP 病程演进的早期预警信号。此子路径的主体功能在于输出一个高维特征向量集,涵盖皮层电活动、自主神经调节、呼吸中枢驱动及夜间运动状态四个主要维度。

3.3 中医四诊信息的结构化采集与表征路径

中医检验子路径的核心是将传统四诊信息转化为可供人工智能处理的结构化数据。望诊采集面色、舌象及神态特征,其中舌象可通过高光谱成像技术实现客观化记录。闻诊关注声音的低沉程度与气息状态。问诊采用结构化问卷收集入睡困难的程度、睡眠维持能力、夜间觉醒频率、晨起疲劳感及日间嗜睡状况,并向辨证的关键方向定向采集。切诊包括脉象特征的客观化记录。

这些多维信息通过中医辨证知识图谱进行关联映射,形成若干辨证类别的概率分布向量。中医辨证路径的优势在于:它并非直接度量睡眠本身的物理参数,而是从人体整体

功能状态的宏观视角切入,将睡眠障碍还原为脏腑气血失和的具体表现。这种视角对 DEACMP 而言具有重要意义——该病本质上是全脑广泛功能受损的综合征,单纯聚焦睡眠分层指标可能遗漏关键的功能信息。

3.4 中西医协同融合引擎的架构设计

融合引擎是整个框架的中枢单元,其功能是将现代检验子路径输出的高维生理特征向量与中医辨证子路径输出的证候概率向量进行整合分析。架构设计以三个核心模块为支撑。第一个模块是多模态嵌入层,将来源于不同传感器、不同采样频率、不同语义层级的数据统一映射至一个共享的向量空间。第二个模块是跨模态注意力网络,其核心功能是识别和量化不同模态信号之间的关联强度,并据此动态调整各模态在最终决策中的权重。例如,当 EEG 显示慢波活动减少合并舌苔厚腻及脉滑等特征时,注意力机制可能增强痰湿阻滞证候对异常睡眠结构解释的权重。第三个模块是协同推理单元,该单元通过图神经网络或知识增强的深度学习架构,将西医客观指针与中医证候标签之间的潜在映射关系建模为可学习的函数。最终输出既包含对睡眠障碍的客观量化评估,也包含中西医协同视角下的功能状态综合判断。

4. 框架实施的理论支撑与关键挑战

4.1 中西医协同的多层解释性框架

人工智能在医疗领域的信任困境很大程度上源于模型的黑箱特性。本框架在中西医协同的场景下面临双重解释性要求——不仅需要解释 AI 从何种生理特征中做出睡眠分期的判断,还需要解释这些生理改变与中医辨证结论之间的关联逻辑。对此可引入多层解释性框架:第一层为特征归因层,通过 Shapley 值或注意力热图等方法展示各输入模态对分期结果与辨证分类的贡献权重。第二层为知识映射层,利用中西医知识图谱将特征归因结果与病理生理机制及中医病机理论进行关联展示。第三层为临床语义层,以自然语言生成方式输出可供临床医师直接理解的推理结论。

4.2 数据融合中的语义鸿沟问题

参考文献:

- [1]孙丹,李阳安,张逸,等.经颅重复针刺疗法同步高压氧改善一氧化碳中毒迟发性脑病认知障碍的研究[J].中国康复,2025,40(2):89-93.
 - [2]武艳芳,张玉,傅永旺.急性一氧化碳中毒迟发性脑病的危险因素分析[J].国际医药卫生导报,2025,31(4):596-602.
 - [3]周晓青,唐盈盈,陈佳玲,等.基于《黄帝内经》时间医学探析以“时”防治不寐[J].浙江中医药大学学报,2025,49(9):1115-1120.
 - [4]韩壮,江澍,陈苏苏.郁证与不寐的中医学关系:一项两样本双向孟德尔随机化研究[J].现代中西医结合杂志,2025,34(17):2355-2360.
 - [5]秦舒能,韩鹏,石宇.基于大模型的中医睡眠障碍数字人平台构建与应用[J].中国数字医学,2026,21(3):96-102.
 - [6]闫雪,汪卫东,洪兰,等.中医睡眠调控技术干预慢性失眠的临床研究[J].世界中医药,2022,17(15):2191-2194.
- 基金项目:吉林省科技发展计划项目【编号:242740SF0102127642】;中国中医药信息学会科研项目睡眠障碍中西医协同临床优化路径与特色技术研究课题【编号:SM-2025-001, SMFH-26-16】。

中医四诊信息与多导睡眠图生理信号在数据类型、语义层级及时间尺度上存在本质差异。四诊信息属描述性、整体性、静态的临床观察,而多导睡眠图属高维、时序性、动态的生理测量。将二者在同一框架内进行融合,必须面对数据异构性的根本挑战。建议采用分级融合策略:第一级为数据层的信号级融合,仅限时间对齐的连续生理信号之间进行;第二级为特征级的中间表示融合,适用于经过特征提取后的多模态生理参数;第三级为决策级的语义融合,四诊信息的结构化表征在该层级以先验知识的形式约束和调校融合结果。

4.3 可扩展性与泛化能力的保障机制

DEACMP 的流行病学特征决定了多中心研究的稀缺性。在训练数据有限的情况下,模型的泛化能力是一个现实约束。可采取如下策略:引入迁移学习框架,先在通用睡眠数据集上完成模型的大规模预训练,再以少量 DEACMP 特定样本进行微调适配;采用多任务学习架构,使模型在同一共享表征空间中同时学习睡眠分期、睡眠微结构异常检测及中医辨证分类等关联任务,通过任务间的信息互补提升泛化能力;构建虚拟数据增强方法,通过合理的信号变换扩增有限数据集的样本多样性。

5. 结语

本文构建了一个人工智能辅助下、以中西医协同为整合逻辑的 DEACMP 睡眠障碍检验路径优化框架,完成了从“单模态指标”孤立识别到“多模态路径”系统整合的理论转向论证。该框架的创新价值体现在三个层面:将睡眠检验的对象从单一维度的电活动信号扩展为涵盖多系统功能状态的多模态数据体系;在深层结构层面实现了现代睡眠医学量化检验与传统中医整体辨证的方法论对接;以人工智能的融合能力为技术驱动力,为 DEACMP 睡眠障碍的精准检验提供了新的理论路线图。这一框架有待在未来的基础与临床转化研究中进一步验证和优化。