·综述·

基于电生理特征探讨针刺改善失眠过度觉醒的神经生物学机制研究进展

郑茹文[1],王东岩[2*],董旭[2],冯丽媛[2],张虹岩[3],蒋思宇[1]
([1]黑龙江中医药大学第二临床医学院,哈尔滨 150040;黑龙江中医药大学附属第二医院:[2]针灸科,[3]教务科,哈尔滨 150000)

【摘 要】 过度觉醒是失眠发生与维持的关键,患者常伴有中枢神经、自主神经及神经内分泌功能紊乱,并表现出特征性电生理异常。针刺改善失眠过度觉醒效果显著,通过降低大脑高频脑电活动、调节交感-副交感神经的平衡来缓解失眠过度觉醒相关躯体特征。通过梳理近年相关研究发现,针刺可能通过调节失眠患者异常神经网络、觉醒-睡眠相关神经递质的动态平衡以及神经内分泌通路来改善失眠过度觉醒状态、提升患者睡眠质量。未来研究当聚焦多模态视域探讨不同针刺方案靶向特定失眠亚型的起效机制,以推动针刺治疗失眠的个体化与精准化应用。

【关键词】 针刺;失眠;过度觉醒;神经生物学机制;电生理特征
【中图分类号】 R246;R592 【文献标志码】 A 【DOI】 10.11915/j.issn.1671-5403.2026.05.081

Research progressin neurobiological mechanisms of acupuncture for hyperarousal in insomnia based on electrophysiological features

Zheng Ruwen[1], Wang Dongyan[2*], Dong Xu[2], Feng Liyuan[2], Zhang Hongyan[3], Jiang Siyu[1]
([1]The Second Clinical Medical College of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin 150040, China; [2]Acupuncture Department, [3]Academic Affairs Department, The Second Affiliate Hospital of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin 150000, China)

【Abstract】 Hyperarousal is a key factor in the occurrence and persistence of insomnia. Patients often present with in central nervous, autonomic nervous, and neuroendocrine dysfunctions with characteristic electrophysiological abnormalities. Acupuncture demonstrates significant efficacy in improving hyperarousal in insomnia by reducing high-frequency brainwave activity and regulating the balance between sympathetic and parasympathetic nerves, thereby alleviating associated physical symptoms. A review of recent studies suggests that acupuncture may ameliorate hyperarousal in insomnia and enhance sleep quality by modulating abnormal neural networks, restoring the dynamic balance of sleep-wake-related neurotransmitters, and regulating neuroendocrine pathways. Future research should focus on a multimodal perspective to explore the therapeutic mechanisms of different acupuncture regimens targeting specific insomnia subtypes in order to advance personalized and precise application of acupuncture in treating insomnia.

【Key words】 acupuncture; insomnia disorder; hyperarousal; neurobiological mechanisms; electrophysiological characteristics
This work was supported by Research Projectin Traditional Chinese Medicine of Heilongjiang Province (ZHY2023-009) *and* 2020 *Research Project for Major Scientific Issues and Medical Technology Challenges of China Association of Medical Education* (2020KTE005).
Corresponding author: Wang Dongyan, E-mail: doctwdy@163.com

失眠(insomnia disorder, ID)是临床常见的睡眠障碍,患病率随年龄递增,老年人群患病率高达19.6%[1],并与认知功能减退、心脑血管疾病、精神障碍及跌倒风险上升等不良健康结局相关[2-4]。过度觉醒是ID发生发展的重要机制,表现为24 h高度觉醒状态[5],涵盖认知情绪、生理和皮层领域觉醒程度的相对增加,与中枢神经、自主神经及神经内分泌系统的病理生理改变密切相关,通过监测脑电、心电、肌电等电生理信号,可直观识别ID过度觉醒状态,为早期诊断及深入了解ID的神经机制提供客观依据。

针刺治疗ID疗效显著且安全性较西药高,能够提升患者睡眠质量、改善失眠严重程度及日间功能[6]。本研究旨在梳理ID患者过度觉醒的电生理

收稿日期:2025-06-24;**接受日期**:2025-08-21
基金项目:黑龙江省中医药科研项目(ZHY2023-009);中国医药教育协会2020重大科学攻关问题和医药技术难题科研课题(2020KTE005)
通信作者:王东岩,E-mail:doctwdy@163.com

特征,聚焦中枢神经、自主神经、神经内分泌系统等核心机制探讨针刺改善ID过度觉醒的潜力及相关神经生物学机制,为针刺精准化、个体化干预ID提供理论基础。

1 基于电生理的失眠过度觉醒躯体特征

1.1 ID患者存在生理性过度觉醒

生理性过度觉醒表现为心率(beats per minutes, BPM)、心率变异性(heart rate variability, HRV)、体温及代谢率等指标的兴奋性改变,反映交感、副交感神经的张力与二者间平衡性状态以及躯体兴奋程度[7]。ID患者交感神经兴奋性较健康睡眠者(good sleeper, GS)上调,副交感神经兴奋性下调,表现为清醒和睡眠阶段BPM增加[8],HRV的高频功率(high frequency, HF)和相邻R-R间期差值的均方根(root mean square of successive R-R interval differences, RMSSD)降低[9],低频功率(low frequency, LF)与LF/HF增加[10],交感-副交感神经活动间的平衡被打破。此外,神经与肌肉间的特殊耦合关系使得骨骼肌紧张度随交感神经兴奋而增加,ID患者额肌肌电活动较GS增加[11],且其紧张状态能泛化到其他肌群,是患者精神紧张的标志。

1.2 ID患者存在大脑皮层过度觉醒

大脑皮层过度觉醒是指大脑皮层神经活动在清醒与不同睡眠阶段出现的异常兴奋状态,ID患者高频脑电活动增加是皮层过度觉醒的电生理标志[12],表现为患者清醒期beta、gamma、theta功率增加,快速眼动睡眠期alpha、sigma功率增加以及非快速眼动睡眠期alpha、sigma、theta功率增加和delta功率减少,提示患者觉醒程度增加及深度睡眠减少[13]。此外,ID患者脑电活动存在不对称模式,表现为快速眼动睡眠期中央-枕叶区(C3/O1、C4/O2)和顶-枕叶区(P3/O1、P4/O2)的theta不对称性降低,大脑左前额叶和左顶叶(F3/P3导联)delta与theta不对称性增强,该特征与抑郁症状及失眠主诉呈正相关性[14]。

2 针刺对失眠过度觉醒相关躯体特征的调节潜力

针刺能够降低ID患者的皮层兴奋性、调节自主神经平衡及调控认知情感领域的觉醒水平。电生理证据显示,低频电针刺激百会、印堂能够降低ID患者睁眼状态下右前额叶和左颞叶脑电beta及左颞叶alpha功率,增强左颞叶theta/delta以及右颞叶、右枕叶、顶部中线theta活动;降低闭眼状态下右前额叶gamma功率[15],改善患者睡眠过程中对视觉刺激的灵敏性,降低对睡眠的过度关注与负性认知。针刺百会、神庭、四神聪等穴能够提高ID患者迷走神经兴奋性,表现为LF、LF/HF降低,HF升高[16]。浅针董氏奇穴镇静穴后,ID患者BPM降低,RMSSD、HF升高,LF、LF/HF降低,副交感神经兴奋性提高,交感神经兴奋性降低,躯体兴奋程度下调[17]。事件相关电位(event-related potential, ERP)N2、P3成分与认知和情绪加工相关,针刺“鬼穴”能显著增加ID患者N2波幅[18],调任通督针刺(取百会、神庭、气海等穴)能够缩短P3潜伏期[19],提升患者对负性情绪的调控能力,改善认知情感觉醒水平。

3 针刺调节失眠过度觉醒相关神经生物学机制

失眠过度觉醒的电生理特征与神经网络异常、神经递质失衡、下丘脑-垂体-肾上腺(hypothalamic-pituitary-adrenal, HPA)轴过度激活等神经生物学机制密切相关,针刺通过发挥多靶点调节作用,有效改善失眠过度觉醒状态。

3.1 针刺改善神经网络的异常

ID患者大脑皮层高频脑电活动增加及自主神经功能紊乱可能与多个特定大规模脑网络全局性和区域性功能连接异常有关[20]。针刺能够部分调节ID患者默认网络(如额上回、缘上回、楔前叶、海马旁回)[21],突显网络(如下丘脑)[22]、情绪网络(如杏仁核、前扣带回皮层、海马、丘脑)[23]的异常功能连接,降低皮层兴奋性,改善患者的警觉状态与负面情绪,提升睡眠质量。此外,岛叶、前扣带回、杏仁核、海马、下丘脑等区域亦为自主神经的调节中枢[24],针刺调控上述区域可促进自主神经稳态的恢复,进而全面改善ID患者过度觉醒。

3.2 针刺调节神经递质的表达

神经递质的异常表达是导致ID过度觉醒的神经生物学基础,γ-氨基丁酸(γ-aminobutyric acid, GABA)能信号传导受损造成神经网络的稳定性和可预测性降低[25],与ID高频脑电活动增强密切相关;后腹侧内侧杏仁核中的谷氨酸能神经元的激活会促进觉醒状态、增加焦虑样行为[26];儿茶酚胺(如多巴胺、去甲肾上腺素)水平升高,能引起BPM增快、血压升高等躯体过度觉醒反应[27]。针刺安全性高且不良反应少,可恢复觉醒-睡眠相关神经递质的动态平衡,改善失眠过度觉醒状态。基于调和阴阳理论的针刺组方(取关元、百会、大椎、命门、照海、申脉、中脘)联合西药治疗能升高老年失眠患者

5-羟色胺、神经肽 Y、GABA 及褪黑素的表达[28,29]，降低去甲肾上腺素、多巴胺的表达，有效改善失眠症状、减轻日间嗜睡程度，且不良反应少。此外，针刺能调节 GABA a 型受体和多巴胺 D1 受体的表达来增加 ID 患者皮质下区域的脑血流量，促进大脑从异常觉醒状态向睡眠状态平稳过渡[30]。

3.3 针刺抑制下丘脑-垂体-肾上腺轴过度激活

HPA 轴通过多层级调控维持体内神经内分泌系统的平衡。下丘脑室旁核神经元释放的促肾上腺皮质激素释放激素(corticotrophin-releasing hormone，CRH)是激活 HPA 轴的起始信号，CRH 可增加睡眠脑电高频活动及总觉醒时间，减少慢波睡眠[31]。ID 患者 CRH 水平显著升高[32]，促使垂体前叶分泌促肾上腺皮质激素(adrenocorticotrophic hormone，ACTH)进而刺激肾上腺皮质合成 HPA 轴的终末产物皮质醇(cortisol，CORT)，ID 患者日间、睡前及夜间的 CORT 水平较 GS 均升高，且客观睡眠损失程度与 CORT 水平呈正相关[32]。针刺神门、心俞、脾俞能有效降低 ID 患者血清 CRH、ACTH 及 CORT 浓度，抑制 HPA 轴过度激活，改善过度觉醒状态[33]。

综上，过度觉醒是 ID 发生与维持的重要因素，涉及中枢神经系统兴奋性增高、自主神经功能紊乱及神经内分泌失调等多方面改变，本文基于电生理手段为失眠过度觉醒假说提供了直接的生物学证据。针刺改善 ID 过度觉醒效果显著，通过调节异常脑功能网络、觉醒-睡眠相关神经递质的表达及睡眠相关神经内分泌通路来多靶点改善 ID 过度觉醒(图 1)，临床中常与其他中医药疗法联合应用。鉴于 ID 的复杂性与个体症状的差异性，未来研究当运用多模态数据(电生理、神经递质、影像学)解析不同亚型 ID 的神经生物学异质性及疗效预测生物标志物筛选，并建立基于神经生物学特征的 ID 亚型分层治疗策略，助力针刺在失眠治疗中的个体化与精准化应用。

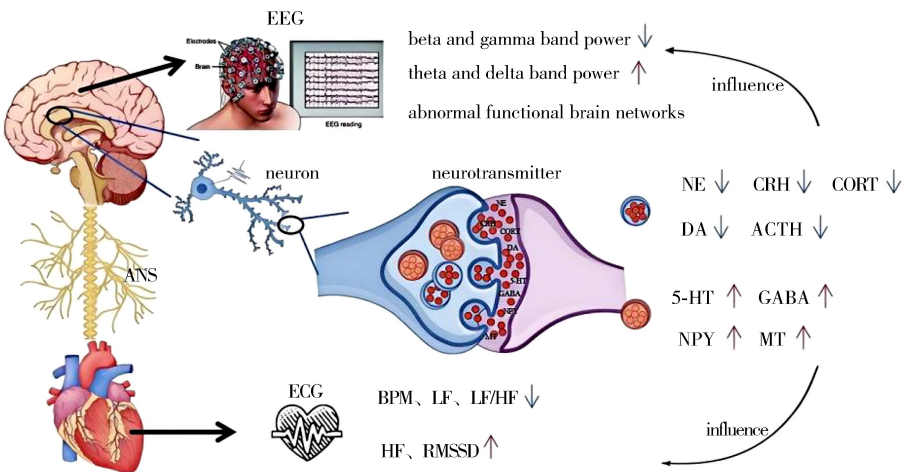


图 1 针刺改善失眠过度觉醒的神经生物学机制

Figure 1 Neurobiological mechanisms of acupuncture for insomnia-related hyperarousal

ANS: autonomic nerves system; EEG: electroencephalography; ECG: electrocardiography; BPM: beats per minutes; LF: low frequency; HF: high frequency; RMSSD: root mean square of successive R-R interval differences; NE: norepinephrine; CRH: corticotrophin-releasing hormone; CORT: cortisol; DA: dopamine; ACTH: adrenocorticotrophic hormone; 5-HT: 5-hydroxytryptamine; GABA: γ-aminobutyric acid; NPY: neuropeptide Y; MT: melatonin.

【参考文献】

[1] Endomba FT, Tchebegna PY, Chiabi E, *et al*. Epidemiology of insomnia disorder in older persons according to the diagnostic and statistical manual of mental disorders: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Geriatr Med, 2023, 14(6): 1261-1272. DOI: 10.1007/s41999-023-00862-2.

[2] Kaufmann CN, Lee S, Berkley AS, *et al*. Diagnosis, treatment, and associated outcomes of later-life insomnia: a narrative review[J]. Sleep, 2025, 48(11): zsaf192. DOI: 10.1093/sleep/zsaf192.

[3] 李鹏鹞，马丽，黄菊菊，等. 老年运动认知风险综合征患者跌倒危险因素及非药物干预的研究进展[J]. 中华老年多器官疾病杂志，2025，24(3)：237-240. DOI：10.11915/j.issn.1671-5403.2025.03.049.

[4] 张源，姜季委，王艳丽，等. 老年人群睡眠障碍与阿尔茨海默病相关性研究进展[J]. 中华老年多器官疾病杂志，2024，23(1)：68-71. DOI：10.11915/j.issn.1671-5403.2024.01.013.

[5] Dressle RJ, Riemann D. Hyperarousal in insomnia disorder: current evidence and potential mechanisms[J]. J Sleep Res, 2023, 32(6): e13928. DOI: 10.1111/jsr.13928.

[6] 王思懿，杨宇琳，白琛，等. 针刺治疗老年性失眠疗效的 meta 分析[J]. 南京中医药大学学报，2024，40(8)：844-854. DOI：10.14148/j.issn.1672-0482.2024.0844.

[7] Shaffer F, Ginsberg JP. An overview of heart rate variability metrics and norms[J]. Front Public Health, 2017, 5: 258. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00258.

[8] Wix-Ramos R, Gálvez-Goicuría J, Verona-Almeida M, *et al*. Monitoring differences in the function of the autonomic nervous system in patients with chronic insomnia using a wearable device[J]. Sleep Med, 2024, 115: 122-130. DOI: 10.1016/j.sleep.2024.02.017.

[9] 郅晓宇. 振腹环揉法治疗心脾两虚型慢性失眠的过度觉醒机制研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2023. DOI: 10.26980/d.cnki.gcczc.2023.000040.

[10] Farina B, Dittoni S, Colicchio S, *et al*. Heart rate and heart rate variability modification in chronic insomnia patients[J]. Behav Sleep Med, 2014, 12(4): 290-306. DOI: 10.1080/15402002.2013.801346.

[11] Wang H, Hou Y, Zhan S, *et al*. EEG biofeedback decreases theta and beta power while increasing alpha power in insomniacs: an open-label study[J]. Brain Sci, 2023, 13(11): 1542. DOI: 10.3390/brainsci13111542.

[12] Lee R, Larson O, Dhaliwal S, *et al*. Comparative analysis of sleep physiology using qualitative and quantitative criteria for insomnia symptoms[J]. Sleep, 2025, 48(3): zsae301. DOI: 10.1093/sleep/zsae301.

[13] Zhao W, Someren EJV, Li C, *et al*. EEG spectral analysis in insomnia disorder: a systematic review and meta-analysis[J]. Sleep Med Rev, 2021, 59: 101457. DOI: 10.1016/j.smrv.2021.101457.

[14] Provencher T, Fecteau S, Bastien C. Patterns of intrahemispheric EEG asymmetry in insomnia sufferers: an exploratory study[J]. Brain Sci, 2020, 10(12): 1014. DOI: 10.3390/brainsci10121014.

[15] 江静, 刘成勇, 方琴琴, 等. 电针对慢性失眠症患者脑电特征信号的影响: 随机对照试验[J]. 针刺研究, 2024, 49(11): 1174-1180. DOI: 10.13702/j.1000-0607.20230778.

[16] 郭静, 胡俊霞, 张帆, 等. 调神法针刺对原发性失眠心率变异率影响的临床研究[J]. 环球中医药, 2019, 12(12): 1877-1880. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1749.2019.12.024.

[17] 陈秀明, 何浈, 詹正烜, 等. 浅针疗法对原发性失眠自主神经功能的影响[J]. 河南中医, 2023, 43(1): 130-134. DOI: 10.16367/j.issn.1003-5028.2023.01.0027.

[18] 梁兰天, 黄浩彬, 吴永刚. 针刺鬼穴对心理生理性失眠事件相关电位N2影响的临床研究[J]. 针灸临床杂志, 2023, 39(5): 22-26. DOI: 10.19917/j.cnki.1005-0779.023091.

[19] 猴燕华. 调任通督针法治疗失眠症的临床研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2012.

[20] 郑茹文, 王东岩, 董旭, 等. 基于无创脑成像技术探讨针刺治疗慢性失眠障碍的中枢机制研究进展[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2024, 22(6): 732-737. DOI: 10.3969/j.issn.1672-0512.2024.06.022.

[21] Zang S, Chen Y, Chen H, *et al*. Effects of acupuncture on the brain in primary insomnia: a coordinate-based meta-analysis of fMRI studies[J]. Front Neurol, 2023, 14: 1180393. DOI: 10.3389/fneur.2023.1180393.

[22] Peng W, Xu H, Zhang C, *et al*. The altered hypothalamic network functional connectivity in chronic insomnia disorder and regulation effect of acupuncture: a randomized controlled neuroimaging study[J]. BMC Complement Med Ther, 2024, 24(1): 396. DOI: 10.1186/s12906-024-04703-y.

[23] Jiang T, Chen Z, Liu J, *et al*. Acupuncture modulates emotional network resting-state functional connectivity in patients with insomnia disorder: a randomized controlled trial and fMRI study[J]. BMC Complement Med Ther, 2024, 24(1): 311. DOI: 10.1186/s12906-024-04612-0.

[24] 李振兴, 尹奎英, 于雪, 等. 基于脑心轴探讨心血管疾病诊疗的新路径[J]. 中国心血管杂志, 2025, 30(1): 4-8. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5410.2025.01.002.

[25] Yu L, Gong L, Chen X, *et al*. Exploratory GABAa-informed control network modulates hyperarousal brain dynamics in chronic insomnia[J]. Commun Biol, 2025, 8(1): 991. DOI: 10.1038/s42003-025-08439-4.

[26] Li Y, Deng Y, Zhang Y, *et al*. Distinct glutamatergic projections of the posteroventral medial amygdala play different roles in arousal and anxiety[J]. JCI Insight, 2024, 9(14): e176329. DOI: 10.1172/jci.insight.176329.

[27] 吴静涵, 董恺奕, 郭立哲, 等. 老年人群睡眠障碍与心血管健康关系的研究进展[J]. 中南医学科学杂志, 2022, 50(1): 137-140. DOI: 10.15972/j.cnki.43-1509/r.2022.01.033.

[28] 于薇薇, 戴晓红, 于学平, 等. 基于调和阴阳理论针灸组方治疗老年肝郁化火型失眠[J]. 吉林中医药, 2024, 44(9): 1096-1100. DOI: 10.13463/j.cnki.jlzyy.2024.09.023.

[29] 刘二军, 任首臣, 郭庆丰, 等. 调和阴阳法针灸对老年不寐患者睡眠质量及MT、NE、5-HT水平的影响[J]. 中国现代医学杂志, 2023, 33(22): 48-53. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2023.22.009.

[30] Yu L, Yang L, Xiaoqin C, *et al*. Cerebral blood flow changes and their spatial correlations with GABAa and Dopamine-D1 receptor explaining individual differences in chronic insomnia and the therapeutic effects of acupuncture[J]. Hum Brain Mapp, 2025, 46(4): e70183. DOI: 10.1002/hbm.70183.

[31] Dressle RJ, Riemann D. Hyperarousal in insomnia disorder: current evidence and potential mechanisms[J]. J Sleep Res, 2023, 32(6): e13928. DOI: 10.1111/jsr.13928.

[32] Dressle RJ, Feige B, Spiegelhalder K, *et al*. HPA axis activity in patients with chronic insomnia: a systematic review and meta-analysis of case-control studies[J]. Sleep Med Rev, 2022, 62: 101588. DOI: 10.1016/j.smrv.2022.101588.

[33] 陆军, 高跃强, 马国良. 针刺对原发性失眠患者多导睡眠图与下丘脑-垂体-肾上腺轴的影响[J]. 上海针灸杂志, 2022, 41(10): 980-984. DOI: 10.13460/j.issn.1005-0957.2022.10.0980.

(编辑: 温玲玲)