

- [39] CHAVES FILHO A J M, CUNHA N L, RODRIGUES P A, et al. Doxycycline reverses cognitive impairment, neuroinflammation and oxidative imbalance induced by D-amphetamine mania model in mice: A promising drug repurposing for bipolar disorder treatment?[J]. Eur Neuropsychopharmacol, 2021, 42: 57-74.
- [40] PEYTON L, OLIVEROS A, TUFVESSON-ALM M, et al. Lipopolysaccharide increases cortical kynurenic acid and deficits in reference memory in mice[J]. Int J Tryptophan Res, 2019, 12: 1178646919891169.
- [41] LU R B, WANG T Y, LEE S Y, et al. Add-on memantine may improve cognitive functions and attenuate inflammation in middle- to old-aged bipolar II disorder patients[J]. J Affect Disord, 2021, 279: 229-238.
- (收稿日期:2023-12-12 录用日期:2024-02-27)
(责任编辑:肖雅妮)

心率变异性与失眠及其非药物治疗关系研究进展[☆]

林文婷* 赵光利* 胡代杰** 朱天民* 余思奕**[⊗]

【摘要】心率变异性(heart rate variability, HRV)是评估自主神经系统功能的重要指标,反映自主神经调节的动态平衡。回顾失眠对HRV影响以及非药物治疗方法对HRV调节潜在效果的研究,证据表明,失眠患者HRV的异常模式主要表现为副交感神经功能降低和交感神经功能亢进,而认知行为疗法和物理治疗等非药物治疗能够调节HRV进而恢复自主神经系统的平衡,但其具体作用机制仍待进一步阐明。深化理解失眠与HRV关系,探索非药物治疗在临床中调节HRV的潜力,可为未来的研究方向和临床实践提供指导。

【关键词】失眠 心率变异性 交感神经 副交感神经 认知行为疗法 物理治疗

【中图分类号】R740

【文献标识码】A

Progress in the study of insomnia and its non-drug treatment in relation to heart rate variability. LIN Wenting, ZHAO Guangli, HU Daijie, ZHU Tianmin, YU Siyi. School of Acupuncture and Tuina, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610075, China. Tel: 028-61705903.

【Abstract】Heart rate variability (HRV) is an important indicator of autonomic nervous system function, reflecting the dynamic balance of autonomic regulation. Reviewing the effects of insomnia on HRV and the potential effects of non-pharmacological treatments on HRV regulation, the evidence suggests that HRV abnormalities in patients with insomnia are mainly manifested as reduced parasympathetic and sympathetic hyperfunction and that non-pharmacological treatments, such as cognitive behavioral therapy and physiotherapy, can restore autonomic homeostasis by regulating HRV, although the specific mechanisms of their effects need to be further elucidated. However, the exact mechanism of action remains to be further elucidated. Deepening the understanding of the relationship between insomnia and HRV and exploring the potential of non-pharmacological therapies to modulate HRV in clinical settings may provide guidance for future research directions and clinical practice.

【Keywords】Insomnia Heart rate variability Sympathetic Parasympathetic Cognitive behavioral therapy Physiotherapy

doi:10.3969/j.issn.1002-0152.2024.02.010

[☆] 国家自然科学基金项目(编号:82374590);四川省科技厅应用基础项目(编号:2021YJ0176);成都中医药大学杏林学者项目(编号:QJRC2022036)

* 成都中医药大学养生康复学院(成都 610075)

** 成都中医药大学针灸推拿学院

[⊗] 通信作者(E-mail:cdutcmysy@gmail.com)

全球约 1/3 成年人受失眠影响,失眠不仅导致日间疲乏、情绪障碍,还可能引起自主神经系统 (autonomic nerves system, ANS) 紊乱,表现为体温升高、皮肤电活动增强和心率变异性 (heart rate variability, HRV) 降低^[1-2]。现有研究已证实,HRV 降低是失眠患者的常见特征^[3],反映 ANS 功能失衡,并且自主神经症状改善对失眠症的治疗有一定帮助^[4]。然而,关于失眠与 HRV 之间的潜在关系,以及如何通过非药物治疗手段调节 HRV 以改善失眠症状,目前的理解仍然有限。本综述旨在系统回顾当前关于失眠与 HRV 之间关系的文献,特别关注非药物治疗方法对 HRV 的潜在调节作用,探讨 HRV 在失眠诊断、治疗和预后评估中作为生物标志物的可行性。

1 HRV 的概述

HRV 即逐搏心跳周期之间差异的变化情况,是评估 ANS 动力学的客观标志物,能够在生理和病理条件下提供交感神经和副交感神经调节的信息^[5]。HRV 由 ANS 与心脏、大脑相互作用共同产生,其发生机制复杂,目前仍未完全明了。大量研究表明,失眠患者的 ANS 常常处于不平衡状态,使得 HRV 成为了探索失眠病因及病理机制的重要生物标志物^[6]。

HRV 的测量可通过动态心电图或睡眠多导图实现。HRV 的记录方式可以分为静态(时间为数分钟)和动态记录(时间可长达 24 h),其分析方法则可分为线性分析和非线性分析两类^[7]。线性分析法进一步细分为时域分析、频域分析和时频分析。如表 1 所示,常用的时域指标有全部正常窦性心律 R-R 间期的标准差 (standard deviation of normal R-R intervals, SDNN)、相邻 R-R 间期差值的均方根 (root mean square of successive R-R interval differences, RMSSD) 以及相邻 R-R 间期之差 >50 ms 的心搏次数占总心搏次数百分比 (proportion of NN50 divided by the total number of NN intervals, pNN50)。时域指标计算简单,意义直观,但其灵敏度和特异度低,不能进一步区分交感、副交感神经的张力及其均衡性的变化。常用的频域指标包括总功率 (total power, TP)、极低频功率 (very low-frequency, VLF)、高频功率 (high frequency, HF)、低频功率 (low frequency, LF) 以及低频功率与高频功率的比值 (low frequency/high frequency, LF/HF)。频域指标能明确反映 ANS 的兴奋性活动,但缺乏时间和频率的定位功能。时频分析则能打破前两者单一应用的局限,但分析方法较为复杂。非线性分析方法能反映心率的瞬时变化,并描述心动周期变化的复杂性,从而提高 HRV

的准确性,但其生理意义尚未明确,且在实际应用中存在困难,尚未得到普遍使用。

2 失眠与 HRV

睡眠过程主要由快速眼动睡眠 (rapid eye movement sleep, REM) 和非快速眼动睡眠 (non-rapid eye movement sleep, NREM) 两个阶段组成。在 REM 阶段,自主神经表现出不稳定性,而在 NREM 阶段相对稳定,这是 ANS 恢复和代谢活动增强的时期^[8]。副交感神经成分随着睡眠深入而增加,而交感神经成分则与觉醒相关。一方面,研究发现失眠患者的大脑皮质活动、ANS 调节、代谢率和激素分泌等方面都出现了与生理唤醒相关的变化^[9-10]。另一方面,HRV 副交感神经参数与睡眠质量及睡眠阶段之间存在明显的线性相关^[11-12]。例如,副交感神经指标 (RMSSD、pNN50、HF) 与睡眠质量存在正相关^[13]。研究表明,在入睡前阶段,较高的 HF 和 LF/HF 与较短的睡眠潜伏期、较少的觉醒事件以及睡眠效率的增加有关^[14]。这些研究提示,失眠患者的 ANS 处于失衡状态。见图 1A。

2.1 失眠患者相较于健康对照的 HRV 变化 BONNET 等^[15]采用频域分析比较 12 例失眠患者和相匹配的正常睡眠者,发现失眠患者在所有睡眠阶段的 LF 增加,而 HF 显著降低。

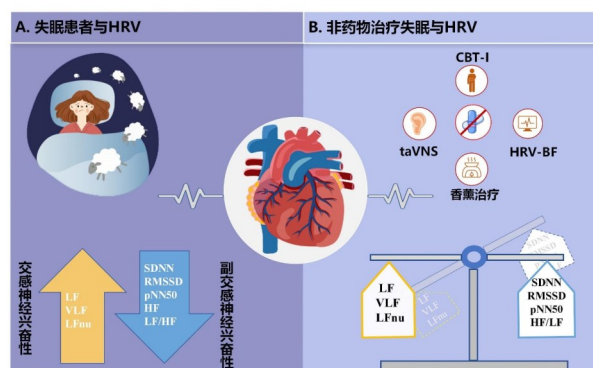


Fig.1 Schematic diagram of the hypothetical mechanism of HRV in insomnia and its non pharmacological therapy for insomnia treatment

图 1 HRV 在失眠及其非药物治疗治疗失眠中的机制假设示意图失眠患者交感神经兴奋性增加,副交感神经兴奋性降低,通过非药物治疗可以平衡交感和副交感神经的兴奋性。注:CBT-I,认知行为疗法治疗失眠;HRV-BF,心率变异性生物反馈;ta VNS,经皮耳穴迷走神经刺激;LF,低频功率;VLF,极低频功率;LFnu,低频的归一化值;SDNN,正常 R-R 间期的标准差;RMSSD,相邻 R-R 间期差值的均方根;pNN50,相邻 R-R 间期之差 >50 ms 的心搏次数占总心搏次数的百分比;HF,高频功率;LF/HF,低频功率与高频功率比值。

类似地, SPIEGELHALDER等^[16]比较58例失眠患者与46名健康对照者,失眠患者的心率、时域指标(SDNN、RMSSD以及pNN50)和频域指标中HF均降低。这些结果提示失眠患者的交感神经兴奋性增强,副交感神经兴奋性降低。DE ZAMBOTTI等^[17]研究报道,失眠患者的LH/HF降低,高频的归一化值(HF normalized units, HFnu)增加,且整夜持续存在交感神经过度激活状态。COSGRAVE等^[18]的研究发现,夜间觉醒次数多或觉醒指数高的失眠患者SDNN明显降低,提示自主神经活性降低。JARRIN等^[19]的研究表明,相较于正常睡眠持续时间(≥ 6 h)的对照组,客观睡眠时间短的失眠患者HF降低,LF/HF和心率升高。

如表2所示,失眠患者的HRV表现为时域指标(如SDNN、RMSSD和pNN50)和频域指标(如HF)呈下降趋势,且与睡眠质量较差呈正相关。这表明失眠患者的ANS平衡被破坏,副交感神经调节作用减弱,自主神经活性下降,进而影响睡眠质量及其调节机制。该病理过程在未来的研究和临床工作中值得进一步关注和探索。

2.2 失眠患者在不同睡眠阶段的HRV变化 目前,许多研究已经开始探索失眠患者在睡眠不同阶段的HRV变化。研究表明,正常REM期间,交感神经活动增强,副交感神经活动减弱,而在NREM期间观察到相反的趋势^[20-21]。FARINA等^[22]研究指出,失眠患者(85例)相较于健康对照者

(55名),在睡前清醒阶段和NREM第2阶段(N2)表现出心率、LF和LF/HF增加,提示交感神经兴奋性增加。MIKOTEIT等^[23-24]的两项研究指出,失眠患者在REM期间HRV由HF向VLF偏移^[23],并且在第1个REM睡眠阶段和相邻的NREM阶段,其HRV均显著降低^[24]。JARRIN等^[19]的研究强调在N2阶段观察到总睡眠时间与HF降低和LF/HF升高有关,在REM阶段失眠严重程度量表改善与HF的增加相关。总的来说,失眠患者在NREM及REM期间HRV水平降低,表示ANS的平衡性受到破坏,交感和副交感神经调节失衡。

以上结果表明,失眠患者在REM阶段交感神经通常表现出异常亢奋,这可能导致入睡困难,而在NREM期间副交感神经兴奋性较低(例如,HF降低,LF/HF增加),这与较差的睡眠质量有关。更重要的是,这些异常的HRV变化不仅有潜力作为失眠的早期诊断指标,还有望为失眠的治疗和预后提供评估价值。

3 失眠的非药物治疗与HRV

常见的失眠非药物疗法包括认知行为治疗和物理治疗等,这些非药物治疗方法可能通过调节HRV来改善失眠症状,从而提高睡眠质量。

3.1 认知行为疗法与HRV改变 目前,认知行为疗法治疗

Tab.1 Physiological significance of common HRV indicators

表1 常见HRV指标的生理意义

指标	全称	单位	生理意义
时域指标			
MR-R	窦性R-R间期的平均值	ms	自主神经功能总的活性
SDNN	全部正常窦性心律R-R间期的标准差	ms	自主神经功能总的活性
SDANN	每5 min R-R间期平均值的标准差	ms	交感神经张力的大小
SDANN index	每5 min R-R间期平均值标准差的平均值	ms	自主神经功能总体状况
RMSSD	相邻R-R间期差值的均方根	ms	副交感神经张力的敏感指标
NN50	相邻R-R间期之差 >50 ms的总数	个	副交感神经张力的大小
pNN50	相邻R-R间期之差 >50 ms的心搏次数占总心搏次数的百分比	无	副交感神经张力的敏感指标
SDSD	相邻R-R间期差值的标准差	ms	副交感神经张力的敏感指标
频域指标			
TP	总功率	ms ²	自主神经总体功能状态
LF	低频功率(0.04~0.15 Hz)	ms ²	交感-副交感神经总体调节功能强弱
HF	高频功率(0.15~0.40 Hz)	ms ²	副交感神经兴奋性
LF/HF	低频功率与高频功率的比值	无	交感-副交感神经兴奋性的均衡性指标
VLF	极低频功率(0.0033~0.04 Hz)	ms ²	交感神经兴奋性
ULF	超低频功率(0.003~0.04 Hz)	ms ²	交感-副交感神经兴奋性的均衡性指标
LFnu	低频的归一化值	n u	交感神经兴奋性
HFnu	高频的归一化值	n u	副交感神经兴奋性

注:HRV,心率变异性;n u,标准化单位。

失眠(cognitive behavioral therapy for insomnia, CBT-I)被广泛认为是失眠的首选治疗策略^[25]。CBT-I包括睡眠卫生、刺激控制、睡眠限制、认知疗法和放松训练等^[26]。JARRIN等^[27]对65例失眠患者进行6周的CBT-I后发现,总睡眠时间增加与LF/HF升高之间存在关联趋势,并且在REM期间失眠严重程度指数降低和HF增加也呈现出关联趋势。一项针对57例急性失眠患者的随机对照研究证实,一次性CBT-I可有效缓解失眠症状,在HRV方面表现为LF降低, HF及HFnu增高^[28]。上述研究提示, CBT-I可以通过抑制交感神经过度活跃和提高副交感神经活性来调节HRV,进而恢复自主神经功能的平衡。

3.2 物理疗法与HRV改变 生物反馈是一种简单、便捷的物理治疗手段,已成为失眠的重要治疗方法。其中,心率变异性生物反馈(heart rate variability biofeedback, HRV-BF)是以HRV为训练指标,借助生物反馈设备帮助改善交感和副交感系统反射的调节功能,增强两个系统之间的平衡调节,该方法在改善失眠方面取得了一定疗效^[29-30]。LIN等^[31]研究发现,失眠患者进行6周的HRV-BF训练后,总睡眠时间增加、睡眠质量提高,并伴有HRV指数(SDNN、LF和TP)的升高。SDNN和TP升高的机制涉及压力感受器或压力反射敏感性的稳态改善、自主神经调节以及副交感神经传出

的刺激。同样的,HERHAUS等^[32]的研究指出,HRV-BF训练后患者睡眠质量改善与SDNN、TP和LF的增加有关。总的来说,HRV-BF作为一种非药物、非侵入性的干预手段,可以显著提高HRV,调节交感与副交感神经平衡,从而提高ANS的稳定性。

近年来,经皮耳穴迷走神经刺激(transcutaneous auricular vagus nerve stimulation, ta VNS)已成为一种治疗失眠的新型方法^[33]。赵亚楠等^[34]对21例失眠患者进行ta VNS治疗,结果显示治疗后患者LF、HF、LF/HF、SDNN、RMSSD指标均有所增加。提示ta VNS可能通过调节自主神经功能起效,使ANS偏向以副交感神经为主,从而间接减轻失眠症状。WU等^[35]的研究报道在持续ta VNS状态下,HRV与ta VNS疗效相关,ANS对刺激更敏感的患者,其ta VNS效果更佳,并且对比安慰剂组,治疗组的HF和pNN50明显增加,以及RMSSD指标呈增长趋势。综上,通过调节HRV的时域指标(SDNN、RMSSD)和频域指标(LF、HF、LF/HF), ta VNS可以有效调节失眠患者的自主神经功能。

除此之外,研究发现失眠患者经香薰治疗后平均心率显著降低,光谱功率分析显示其SDNN、RMSDD和HF显著增加^[36],这提示香薰治疗可以调节失眠患者的ANS活动。HRV指标改善反映了香薰治疗与副交感神经系统的相互作用

Tab.2 Relationship between HRV and insomnia and non pharmacological treatment

表2 HRV与失眠及非药物治疗关系

HRV 指标	失眠患者 HRV 指标变化	非药物治疗法治疗失眠后 HRV 指标变化			
		CBT-I	HRV-BF	ta VAS	香薰治疗
MR-R	-	-	-	MR-R ↑ ^[34]	-
SDNN	SDNN ↓ ^[16, 18]	-	SDNN ↑ ^[31-32]	SDNN ↑ ^[34-35]	SDNN ↑ ^[36]
RMSSD	RMSSD ↓ ^[16]	-	-	RMSSD ↑ ^[34-35]	RMSSD ↑ ^[36]
pNN50	pNN50 ↓ ^[16]	-	-	pNN50 无变化 ^[34] pNN50 ↑ ^[35]	-
TP	-	-	TP ↑ ^[31-32]	-	-
LF	LF ↑ ^[15, 22] NREM LF ↑ ^[22]	LF ↑ ^[28]	LF ↑ ^[31-32]	LF ↑ ^[34]	-
HF	HF ↓ ^[15-16, 19] REM HF ↓ ^[23-24]	HF ↑ ^[27]	-	HF ↑ ^[34]	HF ↑ ^[36]
LF/HF	LF/HF 无变化 ^[16] LF/HF ↓ ^[17] LF/HF ↑ ^[19, 22]	LF/HF ↑ ^[27]	-	LF/HF ↑ ^[34]	-
VLF	REM VLF ↑ ^[23-24]	-	-	-	-
HFnu	HFnu ↑ ^[17]	HFnu ↑ ^[28]	-	-	-

注: ↓表示与健康对照者相比,失眠患者的HRV测量值下降; ↑表示与健康对照者相比,失眠患者的HRV测量上升。HRV, 心率变异性; MR-R, 窦性R-R间期的平均值; SDNN, 全部正常窦性心律R-R间期的标准差; RMSSD, 相邻R-R间期差值的均方根; pNN50, 相邻R-R间期之差>50 ms的心搏次数占总心搏次数的百分比; TP, 总功率; LF, 低频功率; HF, 高频功率; LF/HF, 低频功率与高频功率的比值; VLF, 极低频功率; HFnu, 高频的归一化值; NREM, 非快速眼动睡眠; REM, 快速眼动睡眠; CBT-I, 认知行为疗法治疗失眠; HRV-BF, 心率变异性生物反馈; ta VNS, 经皮耳穴迷走神经刺激。

用,有助于调节焦虑并改善自我报告的睡眠质量。

非药物治疗失眠的机制可能涉及增强副交感神经活动以平衡ANS功能(图1B)。综上,CBT-I、HRV-BF训练、ta VNS等多种非药物治疗方法可以通过调节心脏ANS的活动,提高SDNN、LF和HF等HRV指标,HRV指标升高反映了ANS的平衡和稳定,从而可促进失眠患者睡眠质量的改善。

4 总结与展望

HRV能作为与失眠密切相关的生物标志物,在失眠的诊断和治疗中颇具潜力。纵览现有研究,失眠患者HRV的异常模式主要表现为副交感神经兴奋性降低和交感神经兴奋性增加,而非药物治疗可能通过调节HRV进而恢复ANS的动态平衡(图1)。然而,需要指出的是,HRV受到多种因素的影响,例如研究对象的异质性、生理信号的捕获质量及数据处理方法等,这些因素均可能影响HRV与失眠及其治疗之间的关系。

未来的研究应优先关注提升HRV指标的可靠性和特异性,探索HRV与其他生物标志物结合的可能性,以促进HRV在临床筛查和诊断中的应用。其次,有必要提高HRV监测失眠的准确性,可以从时域、频域,特别是非线性分析中开发新的分析技术来实现。此外,研究显示HRV的改变是失眠和其他精神疾病的共通之处,表明ANS失调可能影响了睡眠与情绪或焦虑相关疾病之间的双向关系^[37]。未来的研究有必要进行纵向设计和因果分析,以进一步阐明睡眠紊乱、HRV失调与情绪障碍之间的关系。最后,增加非药物治疗对失眠影响的前瞻性研究,有可能为HRV作为预测治疗效应的生物标志物提供证据。

参 考 文 献

- [1] PERLIS M L, POSNER D, RIEMANN D, et al. Insomnia[J]. *Lancet*, 2022, 400(10357): 1047–1060.
- [2] CALANDRA-BUONAURO G, PROVINI F, GUARALDI P, et al. Cardiovascular autonomic dysfunctions and sleep disorders [J]. *Sleep Med Rev*, 2016, 26: 43–56.
- [3] TAMISIER R, WEISS J W, PÉPIN J L. Sleep biology updates: Hemodynamic and autonomic control in sleep disorders[J]. *Metabolism*, 2018, 84: 3–10.
- [4] FINK A M, BRONAS U G, CALIK M W. Autonomic regulation during sleep and wakefulness: A review with implications for defining the pathophysiology of neurological disorders[J]. *Clin Auton Res*, 2018, 28(6): 509–518.
- [5] BILLMAN G E, HUIKURI H V, SACHA J, et al. An introduction to heart rate variability: Methodological considerations and clinical applications[J]. *Front Physiol*, 2015, 6: 55.
- [6] DODDS K L, MILLER C B, KYLE S D, et al. Heart rate variability in insomnia patients: A critical review of the literature[J]. *Sleep Med Rev*, 2017, 33: 88–100.
- [7] SHAFFER F, GINSBERG J P. An overview of heart rate variability metrics and norms[J]. *Front Public Health*, 2017, 5: 258.
- [8] CHEN P C, ZHANG J, THAYER J F, et al. Understanding the roles of central and autonomic activity during sleep in the improvement of working memory and episodic memory[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2022, 119(44): e2123417119.
- [9] DRESSLE R J, RIEMANN D. Hyperarousal in insomnia disorder: Current evidence and potential mechanisms[J]. *J Sleep Res*, 2023, 32(6): e13928.
- [10] TOBALDINI E, FIORELLI E M, SOLBIATI M, et al. Short sleep duration and cardiometabolic risk: From pathophysiology to clinical evidence[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2019, 16(4): 213–224.
- [11] HUANG M, BLIWISE D L, SHAH A, et al. The temporal relationships between sleep disturbance and autonomic dysregulation: A co-twin control study[J]. *Int J Cardiol*, 2022, 362: 176–182.
- [12] LIN S, DU Y, XIA Y, et al. Resting-state EEG as a potential indicator to predict sleep quality in depressive patients[J]. *Int J Psychophysiol*, 2023, 191: 1–8.
- [13] FANTOZZI M P T, ARTONI F, FARAGUNA U. Heart rate variability at bedtime predicts subsequent sleep features[J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2019, 2019: 6784–6788.
- [14] WERNER G G, FORD B Q, MAUSS I B, et al. High cardiac vagal control is related to better subjective and objective sleep quality[J]. *Biol Psychol*, 2015, 106: 79–85.
- [15] BONNET M H, ARAND D L. Heart rate variability in insomniacs and matched normal sleepers[J]. *Psychosom Med*, 1998, 60(5): 610–615.
- [16] SPIEGELHALDER K, FUCHS L, LADWIG J, et al. Heart rate and heart rate variability in subjectively reported insomnia[J]. *J Sleep Res*, 2011, 20(1 Pt 2): 137–145.
- [17] DE ZAMBOTTI M, COVASSIN N, SARLO M, et al. Nighttime cardiac sympathetic hyper-activation in young primary insomniacs[J]. *Clin Auton Res*, 2013, 23(1): 49–56.
- [18] COSGRAVE J, PHILLIPS J, HAINES R, et al. Revisiting nocturnal heart rate and heart rate variability in insomnia: A polysomnography-based comparison of young self-reported good and poor sleepers[J]. *J Sleep Res*, 2021, 30(4): e13278.

- [19] JARRIN D C, IVERS H, LAMY M, et al. Cardiovascular autonomic dysfunction in insomnia patients with objective short sleep duration[J]. *J Sleep Res*, 2018, 27(3): e12663.
- [20] TOBALDINI E, COSTANTINO G, SOLBIATI M, et al. Sleep, sleep deprivation, autonomic nervous system and cardiovascular diseases[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2017, 74(Pt B): 321–329.
- [21] BOUDREAU P, YEH W H, DUMONT G A, et al. Circadian variation of heart rate variability across sleep stages[J]. *Sleep*, 2013, 36(12): 1919–1928.
- [22] 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.
- [23] MIKOTEIT T, DE WITTE M, BECK J, et al. Sleep stage related heart rate variability distinguishes between insomnia and normal sleep[J]. *Eur Neuropsychopharmacol*, 2019, 29: S578–S579.
- [24] MIKOTEIT T, HATZINGER M, HOLLSBOER-TRACHSLER E, et al. Sleep-EEG stage related heart rate variability as biomarker for insomnia[J]. *Neuropsychobiology*, 2018, 77(3): 160.
- [25] BLOM K, FORSELL E, HELLBERG M, et al. Psychological treatment of comorbid insomnia and depression: A double-blind randomized placebo-controlled trial[J]. *Psychother Psychosom*, 2024, 29: 1.
- [26] 卢静芳, 李静茹, 葛方梅, 等. 失眠认知行为治疗五大技术疗效因子及其治疗感受的质性研究[J]. *中国神经精神疾病杂志*, 2023, 49(7): 402–407.
- [27] JARRIN D C, CHEN I Y, IVERS H, et al. Nocturnal heart rate variability in patients treated with cognitive-behavioral therapy for insomnia[J]. *Health Psychol*, 2016, 35(6): 638–641.
- [28] AMRA B, GHADIRY F, VAEZI A, et al. Effect of one-shot cognitive behavioral therapy on insomnia and heart rate variability of health care workers at the time of COVID-19 pandemic: A randomized controlled trial[J]. *Sleep Breath*, 2023, 27(4): 1411–1418.
- [29] YEN C F, CHOU W P, HSU C Y, et al. Effects of heart rate variability biofeedback (HRVBFB) on sleep quality and depression among methamphetamine users[J]. *J Psychiatr Res*, 2023, 162: 132–139.
- [30] 王昊, 王文迪, 吴东哲, 等. 心率变异性生物反馈调节自主神经系统的机制及应用[J]. *中国组织工程研究*, 2024, 28(26): 4257–4264.
- [31] LIN I M, FAN S Y, YEN C F, et al. Heart rate variability biofeedback increased autonomic activation and improved symptoms of depression and insomnia among patients with major depression disorder[J]. *Clin Psychopharmacol Neurosci*, 2019, 17(2): 222–232.
- [32] HERHAUS B, KALIN A, GOUVERIS H, et al. Mobile heart rate variability biofeedback improves autonomic activation and subjective sleep quality of healthy adults – a pilot study[J]. *Front Physiol*, 2022, 13: 821741.
- [33] 李香粉, 刘畅, 闫乐婷, 等. 迷走神经刺激改善抑郁症患者临床症状的机制[J]. *中国神经精神疾病杂志*, 2023, 49(5): 313–317.
- [34] 赵亚楠, 李少源, 李素霞, 等. 经皮耳穴-迷走神经电刺激对原发性失眠患者夜间自主神经功能的影响[J]. *中国针灸*, 2022, 42(6): 619–622.
- [35] WU X, ZHANG Y, LUO W T, et al. Brain functional mechanisms determining the efficacy of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation in primary insomnia[J]. *Front Neurosci*, 2021, 15: 609640.
- [36] CHIEN L W, CHENG S L, LIU C F. The effect of lavender aromatherapy on autonomic nervous system in midlife women with insomnia[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2012, 2012: 740813.
- [37] CORREIA A T L, LIPINSKA G, RAUCH H G L, et al. Associations between sleep-related heart rate variability and both sleep and symptoms of depression and anxiety: A systematic review[J]. *Sleep Med*, 2022, 101: 106–117.

(收稿日期:2023-10-26 录用日期:2024-02-27)

(责任编辑:肖雅妮)