



# 运动干预对睡眠障碍的影响及作用机制研究进展\*

龚明俊<sup>1</sup>, 唐桥<sup>2</sup>, 谭思洁<sup>3</sup>, 胡晓飞<sup>4△</sup>

1. 天津体育学院运动训练学院(天津 301617); 2. 重庆师范大学体育与健康科学学院(重庆 400700);

3. 天津体育学院运动健康学院(天津 301617); 4. 北京体育大学(北京 100084)

**【摘要】** 睡眠障碍严重影响人们的身心健康,已成为现代社会人们普遍关注的问题。研究表明,急性运动干预和长期规律性运动干预均可改善紊乱的睡眠结构,使各期睡眠时长和比例趋于正常。运动干预还能对睡眠期间的内分泌功能、代谢功能、免疫应答、自主神经系统和心脏功能产生积极影响,是改善睡眠障碍的一种非药物治疗手段。运动干预的类型(有氧运动、抗阻运动、身心运动)是运动干预方案的调节变量之一,不同类型的运动改善睡眠障碍的机制存在差异。运动量、运动强度是运动干预方案的另一调节变量,针对个体可能存在改善睡眠障碍最佳的运动量和运动强度。在不同时间段实施的运动干预也会对睡眠障碍造成不同程度的影响,目前在改善睡眠质量最佳运动时间段方面尚未形成共识。本文从表观遗传、过度觉醒、昼夜节律、体温调节等4个方面总结了运动改善睡眠障碍的作用机制,并讨论了目前该领域的研究不足和研究展望,为睡眠障碍运动处方的制定提供理论依据。

**【关键词】** 运动干预 睡眠障碍 机制 综述

**Research Progress in the Effect of Exercise Intervention on Sleep Disorders and the Mechanisms Involved** GONG Mingjun<sup>1</sup>, TANG Qiao<sup>2</sup>, TAN Sijie<sup>3</sup>, HU Xiaofei<sup>4△</sup>. 1. Sports Training College, Tianjin University of Sport, Tianjin 301617, China; 2. School of Sports and Health Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 400700, China; 3. Sports and Health College, Tianjin University of Sport, Tianjin 301617, China; 4. Beijing Sport University, Beijing 100084, China

△ Corresponding author, E-mail: Hu.xiaofei9@163.com

**【Abstract】** Sleep disorders, a common concern in modern society, seriously affect people's physical and mental health. Reported findings suggest that both acute exercise intervention and long-term regular exercise intervention can improve the disrupted sleep structure and normalize the duration and proportion of the different phases of sleep. Moreover, exercise intervention has a positive effect on the endocrine functions, the metabolic functions, the immune response, the autonomic nervous system, and cardiac functions during sleep. It is a non-medicative therapeutic strategy for improving sleep disorders. The specific type of exercise intervention (aerobic exercise, resistance exercise, or meditative movement) adopted is one of the moderating variables of exercise intervention programs. Different types of exercise improve sleep disorders by way of different mechanisms. Exercise volume and intensity are another moderating variable of exercise intervention programs. The optimal amount and intensity of exercise for different individuals to improve sleep disorders may vary. Exercise interventions implemented at the different times throughout a day can also have varying degrees of impact on sleep disorders and there is no consensus on the optimal exercise time for improving sleep quality at present. Herein, we summarized the mechanisms by which exercise intervention improves sleep disorders from four perspectives, including epigenetics, hyperarousal, human circadian rhythm, and body temperature regulation. In addition, we discussed the current gaps and prospects of research in this field, aiming to provide a theoretical basis for the development of exercise prescriptions for sleep disorders.

**【Key words】** Exercise intervention Sleep disorders Mechanism Review

睡眠障碍是对睡眠时间或睡眠质量不满意且影响日间功能的主观体验,进而导致相关生理机能失调,甚至病理改变<sup>[1]</sup>。睡眠指数是从睡眠质量、睡眠环境,以及睡眠信念和行为3个维度对居民的睡眠状况进行综合评估。睡眠指数低于60分(百分制)代表存在睡眠问题。《中国睡眠研究报告2023》数据显示,中国居民睡眠指数仅为67.77分<sup>[2]</sup>。显然,解决我国居民睡眠障碍的问题刻不

容缓。

运动干预是根据疾病特点进行的全身或局部运动,进而缓解症状或改善机体功能的一种非药物治疗手段。与药物治疗相比,运动干预具有更好的推广性、普适性和可接受性,且无药物依赖等副作用。目前,运动干预已成为临床上用于改善普通人群以及代谢系统疾病、心脑血管系统疾病等患者群体睡眠障碍的一种重要手段。

近年来,研究人员在运动干预睡眠障碍方面进行了大量的研究,如运用不同运动形式对不同年龄、疾病的睡眠障碍人群实施干预<sup>[3-5]</sup>。根据现代运动处方理论<sup>[6]</sup>,在制

\* 国家重点研发计划项目(No. 2020YFC2006700)资助

△ 通信作者, E-mail: Hu.xiaofei9@163.com

出版日期: 2024-01-20

定“精准化”运动处方前应首先对运动干预的内容、持续时长、运动强度、运动量以及干预疾病的机制等进行研究。但目前这些方面还未得到系统的探讨,这使得干预睡眠障碍的运动方案缺少理论指导。同时,不同方案的改善效果存在明显差异。因此,本文从运动干预对睡眠生理的影响、运动干预影响睡眠障碍的调节变量、作用机制等方面进行讨论,为制定睡眠障碍“精准化”运动处方提供理论依据。

## 1 运动干预对睡眠生理的影响

### 1.1 运动干预对睡眠结构的影响

#### 1.1.1 急性运动干预对睡眠结构的影响

运动可改善睡眠障碍患者紊乱的睡眠结构,使各期睡眠时长和比例趋于正常。急性运动对睡眠结构的影响表现为小幅度增加慢波睡眠(slow-wave sleep, SWS)时长和快速眼动睡眠(rapid eye movement, REM)潜伏期,减少REM。当运动发生在睡前4~8 h,能缩短睡眠潜伏期(sleep onset latency, SOL)和入睡后觉醒时长(wakefulness after sleep onset, WASO)<sup>[7]</sup>。王宝森等<sup>[8]</sup>利用有氧运动、抗阻运动、有氧联合抗阻运动对老年人进行急性运动干预后发现,老年人的SOL减少、睡眠效率(sleep efficiency, SE)提高,且不同运动形式对老年人睡眠障碍的改善存在差异。

#### 1.1.2 长期规律性运动干预对睡眠结构的影响

长期规律性运动对睡眠结构的影响主要表现为增加SWS、总睡眠时长(total sleep time, TST),减少REM、SOL、WASO等。KALAK等<sup>[9]</sup>对51名青少年进行干预后发现,与对照组相比,运动组的睡眠结构出现明显变化,表现为TST和SE提高,而SOL减少,REM睡眠潜伏期延长。规律性运动还能提高主观睡眠质量,改善情绪和注意力。动物研究同样显示,大鼠在夜间进行8周规律性运动后,显著降低了碎片化睡眠(约35%)、增加了非快速眼动睡眠(non-rapid eye movement, NREM)期间 $\delta$ 波<sup>[10]</sup>。

### 1.2 运动干预对睡眠期间生理功能的影响

#### 1.2.1 运动干预对睡眠期间内分泌功能的影响

运动过程中机体代谢和各种激素水平的变化是对相应中枢神经递质和免疫功能的调节应答。对运动起应答反应的激素轴有性腺轴、生长激素轴、下丘脑-垂体-肾上腺轴(hypothalamic-pituitary-adrenal axis, HPA),以及交感神经系统轴(sympathetic nervous system, SNS)等。睡眠期间,HPA轴和SNS轴的活性随血浆皮质醇、肾上腺素和去甲肾上腺素的降低而下降<sup>[11]</sup>。

研究发现,长时间中等强度运动可影响夜间睡眠中

血清生长激素(growth hormone, GH)浓度和皮质醇(cortisol, COR)水平。TUCKOW等<sup>[12]</sup>发现,运动引起第1阶段睡眠(23:00-3:00)血清GH浓度降低,COR分泌增加;第2阶段睡眠(3:00-7:00)血清GH浓度增加,COR分泌减少。此外,运动还会影响血清睾酮(testosterone, T)、褪黑素(melatonin, MT)的分泌,在短时间、高强度运动前后血清睾酮的监测中发现,血清睾酮的浓度出现先升后降的变化特征<sup>[13]</sup>。

#### 1.2.2 运动干预对睡眠期间代谢功能的影响

机体的物质能量代谢受多种激素的共同调节。运动对血清GH和COR分泌的作用可降低胰岛素抵抗,增强骨骼肌对葡萄糖和氨基酸的吸收,提高TST和SE<sup>[14]</sup>。

FENTON等<sup>[15]</sup>发现,傍晚进行抗阻运动后在临睡前补充蛋白质可提高睡眠期间蛋白质合成速率,肌肉形态和功能得到恢复,提示运动有助于改善睡眠期间的代谢功能,并通过增加TST来增加瘦素水平和降低生长素释放肽调节食欲和饥饿感。睡眠缺乏也会导致机体瘦素水平的下降,生长素释放肽升高,进而增加食欲和饥饿感<sup>[16]</sup>。

#### 1.2.3 运动干预对睡眠期间免疫应答的影响

睡眠与免疫系统之间存在双向联系,一方面细胞因子通过血液、神经等途径影响睡眠;另一方面睡眠也可诱导神经活性,反作用于细胞因子。参与睡眠觉醒调控的主要细胞因子包括白细胞介素(interleukin, IL)-1、IL-2、IL-6、表皮生长因子(epidermal growth factor, EGF),肿瘤坏死因子(tumor necrosis factor, TNF)等,其主要生理功能与增加SWS、改变睡眠结构有关<sup>[17]</sup>。

长期规律性运动能调节慢性失眠后促炎性细胞因子和抗炎性细胞因子之间的平衡,从而建立稳定的睡眠-觉醒周期<sup>[18]</sup>。研究表明<sup>[19]</sup>,力竭性运动通常会降低外周血1型T细胞数量和形成促炎性细胞因子、 $\gamma$ 干扰素(interferon- $\gamma$ , IFN- $\gamma$ )的能力,进而增加IL-1、IL-6和TNF的浓度,而中等强度运动可以产生适宜浓度的细胞因子。

#### 1.2.4 运动干预对睡眠期间自主神经系统和心脏功能的影响

普通人群在睡眠期间的SNS活性减弱、副交感神经系统(parasympathetic nervous system, PNS)活性增强,在觉醒和运动期间的SNS活性增强、PNS活性减弱,这种特征使心率和血压呈现出昼夜节律性变化。心率变异性(heart rate variability, HRV)被广泛用于监测不同睡眠阶段、失眠期间自主神经系统的活动<sup>[20]</sup>。

急性运动后睡眠初始阶段心率的升高可能是迷走神经活性减弱、SNS活性增强的结果。长期规律性运动可

对人体睡眠期间PNS和SNS的活性产生良性影响。对久坐少动人群进行2个月中等强度的运动干预后发现,受试者在睡眠期间的PNS活性增强,SNS活性降低<sup>[7]</sup>。

## 2 运动干预影响睡眠障碍的调节变量

### 2.1 运动干预的类型

#### 2.1.1 有氧运动

有氧运动是改善睡眠障碍常见的运动之一,其主要特征是运动强度不大,持续时间较长。KING等<sup>[21]</sup>采用有氧运动对睡眠障碍患者实施干预,利用匹兹堡睡眠质量表(Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI)、睡眠日记以及多导睡眠监测(polysomnography, PSG)证实了有氧运动具有改善睡眠障碍的效果。研究发现<sup>[22]</sup>,通过PSQI得分反应有氧运动改善睡眠障碍的均数差为-1.85。有氧运动可影响脑源性神经营养因子(brain-derived neurotrophic factor, BDNF)启动子IV区甲基化及BDNF的mRNA表达水平,增强神经发育和大脑可塑性,进而改善认知功能和睡眠质量<sup>[23]</sup>。

#### 2.1.2 抗阻运动

抗阻运动是通过整体或局部的力量练习,实现肌纤维数量和肌肉体积增加的一种运动形式。抗阻运动不但可以有效改善睡眠质量,还能改善与睡眠障碍相关的共病(如焦虑、抑郁等)。WHITWORTH等<sup>[24]</sup>对创伤后应激障碍导致睡眠障碍的患者进行为期3周的高强度抗阻训练,发现训练组SE、SOL、焦虑水平等均得到明显改善。抗阻运动改善睡眠障碍的机制可能与有氧运动存在差异。首先,抗阻运动是通过多次重复刺激骨骼肌系统,实现肌纤维数量增加和体积增大,抗阻运动诱发骨骼肌等外周组织细胞的变化会反馈作用于物质能量的合成或分解代谢,反向调控骨骼肌时钟基因的表达<sup>[25]</sup>。其次,抗阻运动还能提高肌肉组织摄取和氧化游离脂肪酸的能力,提高肌肉脂解酶的活性,增强骨骼肌的分泌功能<sup>[26]</sup>。

#### 2.1.3 身心运动

身心运动是一种动作节奏缓慢柔和,注重呼吸、意念与动作相结合的运动形式。IRWIN等<sup>[27]</sup>考察了6个月太极拳练习对睡眠障碍老年人睡眠质量改善效果,结果发现,太极拳练习组的主观睡眠质量、SE、TST、C-反应蛋白(C-reactive protein, CRP)等出现明显改善。八段锦、瑜伽等运动形式对改善睡眠质量同样具有良好的效果<sup>[28]</sup>。身心运动改善睡眠障碍的机制与有氧运动和抗阻运动同样存在差异。由于身心运动强调意念,呼吸和躯体运动的配合,通过增强体内PNS的活性、释放情绪,从而改善睡眠障碍<sup>[29]</sup>。八段锦练习者在柔和缓慢,连贯圆活的动

作中将呼吸调整为细、匀、深、长的状态,有助于调节自主神经系统的功能,从而提高睡眠质量<sup>[30]</sup>。

### 2.2 运动量

运动量是对人体运动刺激量度的大小。《美国人体活动指南第2版(2018)》(简称《活动指南》)推荐美国成年人体力活动的运动量为每周150~300 min中强度有氧体力活动或每周75~150 min高强度有氧体力活动<sup>[31]</sup>。《活动指南》推荐范围内的运动量越大,睡眠障碍的改善效果越明显。AN等<sup>[32]</sup>研究发现受试者运动量为25~30 min时,睡眠质量未见明显改善;当运动量达到50~60 min时,SWS、REM、TST等有一定程度改善;而当运动量高于50~60 min时,睡眠质量得到明显改善。

目前,大多数研究的运动量并没有给定准确的剂量,这可能与运动方案和个体差异等因素有关,但理论上应该存在个体最佳运动量<sup>[33]</sup>。因此,在运动干预前,首先应确定受试者的最佳运动量,并根据受试者运动能力的改善情况进行动态调整。

### 2.3 运动强度

运动强度是决定运动负荷的另一要素,是反映负荷对机体刺激的程度。过低的运动强度对人体心血管系统、SNS等的刺激较小,过高的运动强度则会导致人体促炎性细胞因子与抗炎性细胞因子的失衡,引起潜在的运动风险。KLINE等<sup>[34]</sup>根据每周每千克体质量消耗的热量(kilocalories per kilogram of body weight per week, KKW)将睡眠障碍患者分为4 KKW组、8 KKW组、12 KKW组实施6个月干预,3组睡眠量表得分变化分别为-3.93、-4.06、-6.22,得分负值变化幅度越大,表示改善效果越好。结果提示,运动强度和睡眠障碍改善效果之间存在剂量关系,每个人可能都有适合改善睡眠障碍的最佳运动强度。然而,目前评估不同运动类型的运动强度还缺乏统一的标准。

### 2.4 运动时间段

目前,研究人员对于一天中何时运动更有利于改善睡眠质量尚未形成共识。但研究人员提出了3种观点<sup>[35]</sup>:①晚上运动可能会产生昼夜节律相位延迟效应;②越接近入睡时的运动可能会引起机体的过度兴奋;③在夜间光线不足的情况下运动,会削弱光照对睡眠障碍的改善效果。

针对以上观点,研究人员进行了大量研究。研究发现<sup>[36]</sup>,夜间运动可提高身体压力水平和体温,增加WASO和降低SE。BENLOUCIF等<sup>[37]</sup>研究了上午运动和晚上运动对睡眠障碍老年人睡眠质量的改善情况,结果发现,受试者的主观睡眠质量均有改善,但组间睡眠结构的

变化无明显差异。FRIMPONG等<sup>[38]</sup>发现,与无运动对照组相比,在睡前0.5~4 h完成的高强度运动可减少REM(-2.34%)。由于运动除具有提高睡眠质量外,还能改善人体的身体成分、提高心肺机能、免疫系统机能等<sup>[39]</sup>。因此,在临睡前1 h结束中强度运动更有助于改善睡眠障碍<sup>[40]</sup>。

### 3 运动干预影响睡眠障碍的作用机制

#### 3.1 人体表观遗传机制

表观遗传学是诊断和治疗睡眠障碍的新兴学科领域。运动改善睡眠障碍的表观遗传机制可能与骨骼肌等外周组织细胞的合成与分解代谢改变、睡眠调节相关时钟基因的表达以及大脑神经可塑性的改变等相关<sup>[41]</sup>。

运动可导致骨骼肌细胞的线粒体能量合成增加、肌纤维类型发生转变、物质能量代谢增强等,这些结构和功能的改变以相关基因表达为基础。物质与能量代谢的动态平衡是由生物钟驱动的组织特异性节律调节的,急性失眠或慢性睡眠剥夺均会导致生物钟基因的组织特异性转录和DNA甲基化水平发生改变<sup>[42]</sup>。与稳定的基因序列表达不同的是,表观遗传变化是可逆的。运动诱发骨骼肌和脂肪等外周组织的变化会反馈作用于机体的能量合成或分解代谢,并进一步调控人体时钟基因的表达,改善睡眠障碍<sup>[43]</sup>。目前已证实许多与睡眠调控相关的基因,如昼夜节律基因、突触传递基因、免疫或应激反应基因,以及信号代谢/细胞生长基因等<sup>[44]</sup>。

#### 3.2 人体过度觉醒机制

过度觉醒是睡眠系统和觉醒系统同时活跃的状态,多数被诊断为失眠患者的大脑皮层、躯体以及认知3个层面均处于活跃的状态,这可能会导致SWS和REM减少,SOL、WASO增加等睡眠结构紊乱<sup>[45]</sup>。功能性神经影像显示<sup>[46]</sup>,过度觉醒患者在睡眠和清醒状态下大脑的网状系统、下丘脑、杏仁核等区域的活性增高,COR、去甲肾上腺素水平升高,MT水平降低。

研究表明<sup>[47]</sup>,过度觉醒已成为睡眠障碍发生的原因。目前,针对睡眠障碍的疗法包括药物疗法和非药物疗法,其共同特征之一是降低患者的过度觉醒状态。运动疗法作为一种非药物治疗手段,主要通过提高患者PNS的活性、降低SNS的活性,从而改善睡眠障碍<sup>[48]</sup>。

#### 3.3 人体昼夜节律机制

人体昼夜节律系统主要位于下丘脑前区视交叉上核(suprachiasmatic nucleus, SCN)及其邻近结构。昼夜节律系统紊乱和振幅变化是导致睡眠时相提前、延迟以及不规则睡眠-觉醒周期的主要原因<sup>[49]</sup>。此外,SCN自身节律

也受到外界环境因素和机体内源性因素的共同调控。其中,光信号是外界环境因素中重要的授时因子;而MT则是机体内源性因素中重要的授时因子。当外界明-暗环境变化保持恒定时,昼夜节律主要受MT水平的影响。

运动是调节昼夜节律的因素之一,其途径是通过调节MT分泌、调节睡眠-觉醒周期等影响昼夜节律<sup>[50]</sup>。研究发现<sup>[51]</sup>,在恒定黑暗条件下持续8周耐力运动可提高Clock突变小鼠骨骼肌线粒体水平和运动耐受性,小鼠的昼夜节律发生相移,相移效应与运动开始的时间、运动强度等因素有关。此外,运动还能增加人体内源性时钟与外部环境时钟之间的匹配度,其原因既可能与运动过程中骨骼肌作为分泌器官调节人体的昼夜节律有关,也可能与运动过程中机体产生的细胞因子对分子钟蛋白相位和周期的调节有关<sup>[52]</sup>。

#### 3.4 人体体温调节机制

REID等<sup>[53]</sup>发现,通过调控受试者睡眠期间的体温可以调节SWS的比例。不同的体温节律异常会导致不同类型的睡眠障碍,如体温节律相位延迟会引发入睡困难型睡眠障碍,体温节律相位提前会引发早醒型睡眠障碍等<sup>[54]</sup>。运动是引起人体温改变的一种重要外部条件。当运动引起体温升高后,体温调节主要是通过与外周血管舒张相关的散热机制来完成。MURPHY等<sup>[55]</sup>通过连续记录受试者脑电波和核心体温的变化,对体温最大下降率出现的时间与入睡时间、各期睡眠占比等之间关系进行研究,发现核心体温的快速下降缩短了SOL,并有利于进入SWS阶段。如果临睡前暴露于高温环境,不仅会导致TST和SWS减少,还会出现REM同步减少的现象。

## 4 总结与展望

运动干预具有调整睡眠结构,改善睡眠期间的内分泌、免疫应答和平衡自主神经系统等作用,其机制与人体表观遗传、过度觉醒、昼夜节律,以及体温调节等相关。但目前有关运动干预方案的理论研究较少,特别是运动干预改善睡眠障碍机制的相关研究较少,对运动干预调节睡眠生理的研究不深入,以及缺乏评估不同运动类型的运动强度的统一指标。因此,强化机制研究并加强临床验证、创新运动干预方案的内容和形式、深入探究运动干预对睡眠生理的影响、建立不同运动类型的运动强度的统一指标是未来该领域深入研究的方向。

\* \* \*

**作者贡献声明** 龚明俊负责论文构思、数据审编、正式分析、研究方法和初稿写作,唐桥负责初稿写作,谭思洁负责研究项目管理和提供资源,胡晓飞负责论文构思、监督指导和审读与编辑写作。所有作者已经同

意将文章提交给本刊,且对将要发表的本进行最终定稿,并同意对工作的所有方面负责。

**Author Contribution** GONG Mingjun is responsible for conceptualization, data curation, formal analysis, methodology, and writing--original draft. TANG Qiao is responsible for writing--original draft. TAN Sijie is responsible for project administration and resources. HU Xiaofei is responsible for conceptualization, supervision, and writing--review and editing. All authors consented to the submission of the article to the Journal. All authors approved the final version to be published and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

**Declaration of Conflicting Interests** All authors declare no competing interests.

### 参 考 文 献

- [1] 任志洪, 谢菲, 余香莲, 等. 失眠的自助式认知行为治疗元分析: 疗效、影响因素及证据评价. *心理科学进展*, 2016, 24(2): 173–195. doi: 10.3724/SP.J.1042.2016.00173.  
REN Z H, XIE F, YU X L, *et al.* A meta-analysis of self-help cognitive behavioral therapy for insomnia: Efficacy, influential factors and the quality of evidence. *Adv Psychol Sci*, 2016, 24(2): 173–195. doi: 10.3724/SP.J.1042.2016.00173.
- [2] 王俊秀, 张衍, 张跃, 等. 中国睡眠研究报告2023. 北京: 社会科学文献出版社, 2023: 13–33.  
WANG J X, ZHANG Y, ZHANG Y, *et al.* Chinese Sleep Research Report 2023. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2023: 13–33.
- [3] SO B C L, KWOK S C, LEE P H. Effect of aquatic exercise on sleep efficiency of adults with chronic musculoskeletal pain. *J Phys Act Health*, 2021, 18(9): 1037–1045. doi: 10.1123/jpah.2020-0476.
- [4] Da SILVA R P, MARTINEZ D, URIBE RAMOS J M, *et al.* The effects of resistance exercise on obstructive sleep apnea severity and body water content in older adults: a randomized controlled trial. *Sleep Med*, 2022, 95(8): 37–46. doi: 10.1016/j.sleep.2022.04.014.
- [5] HASAN F, TU YK, LIN C M, *et al.* Comparative efficacy of exercise regimens on sleep quality in older adults: a systematic review and network meta-analysis. *Sleep Med Rev*, 2022, 27(65): 1–7. doi: 10.1016/j.smr.2022.101673.
- [6] 李国平, 王正珍, 郝跃峰, 等. 运动处方中国专家共识(2023). *中国运动医学杂志*, 2023, 42(1): 3–13. doi: 10.16038/j.1000-6710.2023.01.012.  
LI G P, WANG Z Z, HAO Y F, *et al.* Chinese Expert Consensus on Exercise Prescription (2023). *Chin J Sports Med*, 2023, 42(1): 3–13. doi: 10.16038/j.1000-6710.2023.01.012.
- [7] CHENNAOUI M, ARNAL P J, SAUVET F, *et al.* Sleep and exercise: a reciprocal issue. *Sleep Med Rev*, 2015, 20(4): 59–72. doi: 10.1016/j.smr.2014.06.008.
- [8] 王宝森, 李婷文. 不同运动形式对老年人睡眠质量的影响. *中国老年学杂志*, 2020, 40(7): 1465–1469. doi: 10.3969/j.issn.1005-9202.2020.07.037.  
WANG B S, LI T W. Effect of different exercise forms on sleep quality of the elderly. *Chin J Gerontol*, 2020, 40(7): 1465–1469. doi: 10.3969/j.issn.1005-9202.2020.07.037.
- [9] KALAK N, GERBER M, KIROV R, *et al.* Daily morning running for 3 weeks improved sleep and psychological functioning in healthy adolescents compared with controls. *Adolesc Health*, 2012, 51(6): 615–622. doi: 10.1016/j.jadohealth.2012.02.020.
- [10] BLANCO-CENTURION C A, SHIROMANI P J. Beneficial effects of regular exercise on sleep in old F344 rats. *Neurobiol Aging*, 2006, 27(12): 1859–1869. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2005.10.009.
- [11] 胡亮, 韩雨晴. 运动抗抑郁的神经生物学机制研究新进展. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 47(3): 9–20. doi: 10.15983/j.cnki.jsnu.2019.03.232.  
HU L, HAN Y Q. Research progress on the neurobiological mechanism of the antidepressant effects of exercise. *J Shanxi Norm Univ (Nat Sci Edit)*, 2019, 47(3): 9–20. doi: 10.15983/j.cnki.jsnu.2019.03.232.
- [12] TUCKOW A P, RARICK K R, KRAEMER W J, *et al.* Nocturnal growth hormone secretory dynamics are altered after resistance exercise: deconvolution analysis of 12-hour immunofunctional and immunoreactive isoforms. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2006, 291(6): 1749–1755. doi: 10.1152/ajpregu.00854.2005.
- [13] CREWETHER B T, COOK C, CARDINALE M, *et al.* Two emerging concepts for elite athletes: the short-term effects of testosterone and cortisol on the neuromuscular system and the dose-response training role of these endogenous hormones. *Sports Med*, 2011, 41(2): 103–123. doi: 10.2165/11539170-000000000-00000.
- [14] CHEN P, BAYLIN A, LEE J, *et al.* The association between sleep duration and sleep timing and insulin resistance among adolescents in Mexico City. *J Adolesc Health*, 2021, 69(1): 57–63. doi: 10.1016/j.jadohealth.2020.10.012.
- [15] FENTON S, BURROWS T L, COLLINS C E, *et al.* Efficacy of a multi-component m-health diet, physical activity, and sleep intervention on dietary intake in adults with overweight and obesity: a randomised controlled trial. *Nutrients*, 2021, 13(7): 1–17. doi: 10.3390/nu13072468.
- [16] 岳宇娇, 徐平. 睡眠剥夺相关血液生物学指标研究进展. *中国神经精神疾病杂志*, 2020, 46(6): 376–379. doi: 10.3969/j.issn.1002-0152.2020.06.015.  
YUE Y J, XU P. Research progress on blood biological indicators related to sleep deprivation. *Chin J Nerv Ment Dis*, 2020, 46(6): 376–379. doi: 10.3969/j.issn.1002-0152.2020.06.015.
- [17] SANTOS R V, TUFIK S, De MELLO M T. Exercise, sleep and cytokines: is there a relation. *Sleep Med Rev*, 2007, 11(3): 231–239. doi: 10.1016/j.smr.2007.03.003.
- [18] SCHEFFER D D L, LATINI A. Exercise-induced immune system response: anti-inflammatory status on peripheral and central organs. *Biochim Biophys Acta Mol Basis Dis*, 2020, 1866(10): 1–15. doi: 10.1016/j.bbdis.2020.165823.
- [19] SHAW D M, MERIEN F, BRAAKHUIS A, *et al.* T-cells and their cytokine production: the anti-inflammatory and immunosuppressive

- effects of strenuous exercise. *Cytokine*, 2018, 104(3): 136–142. doi: 10.1016/j.cyto.2017.10.001.
- [20] 张震, 王冬慧, 孙娜, 等. 失眠伴焦虑患者的脑功能及心率变异性分析. *首都医科大学学报*, 2021, 42(3): 464–469. doi: 10.3969/j.issn.1006-7795.2021.03.021.
- ZHAGN Z, WANG D H, SUN N, *et al.* Analysis of brain function and heart rate variability in insomnia patients with anxiety. *J Cap Med Univ*, 2021, 42(3): 464–469. doi: 10.3969/j.issn.1006-7795.2021.03.021.
- [21] KING A C, PRUITT L A, WOO S, *et al.* Effects of moderate-intensity exercise on polysomnographic and subjective sleep quality in older adults with mild to moderate sleep complaints. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2008, 63(9): 997–1004. doi: 10.1093/gerona/63.9.997.
- [22] RUBIO-ARIAS J Á, MARÍN-CASCALES E, RAMOS-CAMPO D J, *et al.* Effect of exercise on sleep quality and insomnia in middle-aged women: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Maturitas*, 2017, 100(1): 49–56. doi: 10.1016/j.maturitas.2017.04.003.
- [23] 李莹雪, 葛义俊, 孔晓艺, 等. 慢性失眠患者血清神经营养因子改变及其与睡眠质量和认知功能的关系. *中华神经科杂志*, 2020, 53(2): 85–90. doi: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2020.02.002.
- LI Y X, GE Y J, SUN X Y, *et al.* Changed serum levels of neurotrophic factors and their correlations with sleep and cognition in patients with chronic insomnia disorder. *Chin J Psychiatry*, 2020, 53(2): 85–90. doi: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2020.02.002.
- [24] WHITWORTH J W, NOSRAT S, SANTABARBARA N J, *et al.* High intensity resistance training improves sleep quality and anxiety in individuals who screen positive for posttraumatic stress disorder: a randomized controlled feasibility trial. *Ment Health Phys Act*, 2019, 16(3): 43–49. doi: 10.1016/j.mhpa.2019.04.001.
- [25] SANER N J, BISHOP D J, BARTLETT J D. Is exercise a viable therapeutic intervention to mitigate mitochondrial dysfunction and insulin resistance induced by sleep loss. *Sleep Med Rev*, 2018, 37(1): 60–68. doi: 10.1016/j.smrv.2017.01.001.
- [26] SEVERINSEN M C K, PEDERSEN B K. Muscle-organ crosstalk: the emerging roles of myokines. *Endocr Rev*, 2020, 41(4): 594–609. doi: 10.1210/endo/bnaa016.
- [27] IRWIN M R, OLMSTEAD R, CARRILLO C, *et al.* Cognitive behavioral therapy vs. Tai Chi for late life insomnia and inflammatory risk: a randomized controlled comparative efficacy trial. *Sleep*, 2014, 37(9): 1543–1552. doi: 10.5665/sleep.4008.
- [28] WANG F, EUN-KYOUNG LEE O, FENG F, *et al.* The effect of meditative movement on sleep quality: a systematic review. *Sleep Med Rev*, 2016, 30(12): 43–52. doi: 10.1016/j.smrv.2015.12.001.
- [29] 王骏昇, 孟皎, 郭子骥, 等. 身心锻炼对睡眠质量影响的系统综述. *中国康复理论与实践*, 2023, 29(2): 205–213. doi: 10.3969/j.issn.1006-9771.2023.02.009.
- WANG J S, MENG J, GUO Z Z, *et al.* Effects of mind-body exercise on sleep quality: a systematic review. *Chin J Rehabil Theory Pract*, 2023, 29(2): 205–213. doi: 10.3969/j.issn.1006-9771.2023.02.009.
- [30] 侯江涛, 郑鸿铭, 严梓萁, 等. 八段锦干预失眠症患者疗效的Meta分析. *广州体育学院学报*, 2022, 42(2): 59–69. doi: 10.13830/j.cnki.cn44-1129/g8.2022.02.008.
- HOU J T, ZHENG H M, YAN Z Q, *et al.* Meta-analysis of the efficacy of baduanjin exercise on patients with sleep initiation and maintenance disorders. *J Guangzhou Sport Univ*, 2022, 42(2): 59–69. doi: 10.13830/j.cnki.cn44-1129/g8.2022.02.008.
- [31] 李良, 曹焱, 钟建伟, 等. 《美国人身体活动指南第2版(2018)》解读及启示. *体育学刊*, 2019, 26(5): 96–102. doi: 10.16237/j.cnki.cn44-1404/g8.2019.05.011.
- LI L, CAO T, ZHONG J W, *et al.* An interpretation of and inspirations from the American Physical Activity Guide 2nd Edition (2018). *J Phys Educ*, 2019, 26(5): 96–102. doi: 10.16237/j.cnki.cn44-1404/g8.2019.05.011.
- [32] AN K Y, MORIELLI A R, KANG D W, *et al.* Effects of exercise dose and type during breast cancer chemotherapy on longer-term patient-reported outcomes and health-related fitness: a randomized controlled trial. *Int J Cancer*, 2020, 146(1): 150–160. doi: 10.1002/ijc.32493.
- [33] 李振瑞, 占超, 郭超阳, 等. 预防老年人跌倒的最佳太极拳运动量的Meta分析. *时珍国医国药*, 2021, 32(2): 504–509. doi: 10.3969/j.issn.1008-0805.2021.02.75.
- LI Z R, ZHAN C, GUO C Y, *et al.* Meta analysis of the optimal amount of Tai Chi exercise for preventing falls in the elderly. *Lishizhen Med Mater Med Res*, 2021, 32(2): 504–509. doi: 10.3969/j.issn.1008-0805.2021.02.75.
- [34] KLINE C E, SUI X, HALL M H, *et al.* Dose-response effects of exercise training on the subjective sleep quality of postmenopausal women: exploratory analyses of a randomised controlled trial. *BMJ Open*, 2012, 2(4): 1–9. doi: 10.1136/bmjopen-2012-001044.
- [35] BUMAN M P, KING A C. Exercise as a treatment to enhance sleep. *Am J Lifestyle Med*, 2010, 4(6): 500–514. doi: 10.1177/1559827610375532.
- [36] STUTZ J, EIHLER R, SPENGLER C M. Effects of evening exercise on sleep in healthy participants: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 2019, 49(2): 269–287. doi: 10.1007/s40279-018-1015-0.
- [37] BENLOUCIF S, ORBETA L, ORTIZ R, *et al.* Morning or evening activity improves neuropsychological performance and subjective sleep quality in older adults. *Sleep*, 2004, 27(1): 1542–1551. doi: 10.1093/sleep/27.8.1542.
- [38] FRIMPONG E, MOGRASS M, ZVIONOW T, *et al.* The effects of evening high-intensity exercise on sleep in healthy adults: a systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev*, 2021, 60(5): 1–16. doi: 10.1016/j.smrv.2021.101535.
- [39] 石海旺, 李婕, 吴冲云, 等. 运动改善药物依赖者免疫功能障碍的研究进展. *中国体育科技*, 2021, 57(6): 38–45. doi: 10.16470/j.csst.2021059.
- SHI H W, LI J, WU C Y, *et al.* Research on improving immune dysfunction in drug-dependent patients by exercise. *China Sport Sci Technol*, 2021, 57(6): 38–45. doi: 10.16470/j.csst.2021059.
- [40] YUE T, LIU X, GAO Q, *et al.* Different intensities of evening exercise on sleep in healthy adults: a systematic review and network meta-analysis.

- Nat Sci Sleep, 2022, 14(14): 2157–2177. doi: 10.2147/NSS.S388863.
- [41] CORTESE R. Epigenetics of sleep disorders: an emerging field in diagnosis and therapeutics. *Diagnostics (Basel)*, 2021, 11(5): 1–4. doi: 10.3390/diagnostics11050851.
- [42] CEDERNAES J, SCHONKE M, WESTHOLM J O, *et al.* Acute sleep loss results in tissue-specific alterations in genome-wide DNA methylation state and metabolic fuel utilization in humans. *Sci Adv*, 2018, 4(8): 1–15. doi: 10.1126/sciadv.aar8590.
- [43] PALAGINI L, GEOFFROY P A, GEHRMAN P R, *et al.* Potential genetic and epigenetic mechanisms in insomnia: a systematic review. *J Sleep Res*, 2023, 32(6): 13868–13878. doi: 10.1111/jsr.13868.
- [44] PALAGINI L, BIBER K, RIEMANN D. The genetics of insomnia-evidence for epigenetic mechanisms. *Sleep Med Rev*, 2014, 18(3): 225–235. doi: 10.1016/j.smrv.2013.05.002.
- [45] BONNET M H, ARAND D L. Hyperarousal and insomnia: state of the science. *Sleep Med Rev*, 2010, 14(1): 9–15. doi: 10.1016/j.smrv.2009.05.002.
- [46] Van SOMEREN E J W. Brain mechanisms of insomnia: new perspectives on causes and consequences. *Physiol Rev*, 2021, 101(3): 995–1046. doi: 10.1152/physrev.00046.2019.
- [47] 赵文瑞, 李陈渝, 陈军君, 等. 失眠障碍与过度觉醒: 来自静息态脑电和睡眠脑电的证据. *中国科学: 生命科学*, 2020, 50(3): 270–286. doi: 10.1360/SSV-2019-0234.
- ZHAO W R, LI C Y, CHEN J J, *et al.* Insomnia disorder and hyperarousal: evidence from resting-state and sleeping EEG. *Sci Sin Vitae*, 2020, 50(3): 270–286. doi: 10.1360/SSV-2019-0234.
- [48] 杨栋. 2种不同运动方式对原发性失眠患者睡眠质量的干预效果. *上海体育学院学报*, 2020, 44(11): 38–43. doi: 10.16099/j.sus.2020.11.005.
- YNAG D. Intervention Effect of Two Different Exercise Modes on Sleep Quality of Patients with Primary Insomnia. *J Shanghai Univ Sport*, 2020, 44(11): 38–43. doi: 10.16099/j.sus.2020.11.005.
- [49] MEYER N, HARVEY A G, LOCKLEY S W, *et al.* Circadian rhythms and disorders of the timing of sleep. *Lancet*, 2022, 400(10357): 1061–1078. doi: 10.1016/S0140-6736(22)00877-7.
- [50] 彭景, 任保印, 张荷等. 生物钟紊乱防治策略的研究进展. *生理学报*, 2023, 75(2): 279–290. doi: 10.13294/j.aps.2023.0021.
- PENG J, REN B Y, ZHANG H, *et al.* Research progress in control strategies of biological clock disorder. *Acta Physiologica Sinica*, 2023, 75(2): 279–290. doi: 10.13294/j.aps.2023.0021.
- [51] 黄卓淳, 漆正堂, 刘微娜. 运动与褪黑素抗抑郁的作用、机制以及联合策略研究进展. *中国体育科技*, 2020, 56(2): 3–14. doi: 10.16470/j.csst.2019085.
- HUANG Z C, QI Z T, LIU W N. Research progress on the antidepressant effect, mechanism and joint strategy of exercise and melatonin. *China Sport Sci Technol*, 2020, 56(2): 3–14. doi: 10.16470/j.csst.2019085.
- [52] 刘恒旭, 陈佩杰, 卢文云, 等. 体育锻炼: 介导骨骼肌昼夜节律分子钟的时间线索. *上海体育学院学报*, 2022, 46(6): 94–106. doi: 10.16099/j.sus.2021.04.30.0002.
- LIU H X, CHEN P J, LU W Y, *et al.* Physical exercise: the time clue that mediates the molecular clock of skeletal muscle circadian rhythm. *J Shanghai Univ Sport*, 2022, 46(6): 94–106. doi: 10.16099/j.sus.2021.04.30.0002.
- [53] REID K J, KRÄUCHI K, GRIMALDI D, *et al.* Effects of manipulating body temperature on sleep in postmenopausal women. *Sleep Med*, 2021, 81(5): 109–115. doi: 10.1016/j.sleep.2021.01.064.
- [54] LACK L C, GRADISAR M, Van SOMEREN E J, *et al.* The relationship between insomnia and body temperatures. *Sleep Med Rev*, 2008, 12(4): 307–317. doi: 10.1016/j.smrv.2008.02.003.
- [55] MURPHY P J, CAMPBELL S S. Sex hormones, sleep, and core body temperature in older postmenopausal women. *Sleep*, 2007, 30(12): 1788–1794. doi: 10.1093/sleep/30.12.1788.

(2023 – 04 – 25收稿, 2024 – 01 – 10修回)

编辑 何学令



**开放获取** 本文使用遵循知识共享署名—非商业性使用4.0国际许可协议(CC BY-NC 4.0), 详细信息请访问

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>。

**OPEN ACCESS** This article is licensed for use under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (CC BY-NC 4.0). For more information, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

© 2024 《四川大学学报(医学版)》编辑部

Editorial Office of *Journal of Sichuan University (Medical Sciences)*