

运动员时差反应的疲劳恢复干预研究进展

张晓文

广州市体育科学研究所运动营养研究室, 广东 广州

收稿日期: 2026年2月3日; 录用日期: 2026年2月26日; 发布日期: 2026年3月6日

摘要

时差反应及其疲劳恢复是影响运动员参与国际体育比赛和竞技能力发挥的因素之一。深入了解时差反应疲劳产生的原因及预防措施, 探讨如何帮助运动营养专业人员提高抗时差反应疲劳的营养干预水平技能已成为高水平竞技运动队科技保障的重要环节, 本文对该领域的研究进展进行综述与展望, 以期为提高竞技体育科技保障事业发展提供理论依据。

关键词

时差反应, 疲劳恢复, 竞技运动, 运动营养, 科技保障

Research Progress on Intervention for Athletes Jet lag Reaction and Fatigue Recovery

Xiaowen Zhang

Department of Sport Nutrition, Guangzhou Institute of Sport Science, Guangzhou Guangdong

Received: February 3, 2026; accepted: February 26, 2026; published: March, 6, 2026

Abstract

Jet lag reaction and exercise fatigue recovery are one of the factors which affect athletes' participation in international sports competitions and their competitive ability. Learning and understanding the causes and preventive measures of jet lag reaction fatigue and exploring measures that to help sports nutrition professionals improving their nutritional intervention skills to resist jet lag reaction fatigue has become an important part of high-level competitive sports teams. This article provides a review and outlook on the research progress in this field, aiming to provide theoretical basis for improving the development of sports technology support.

Keywords

Jet Lag Reaction, Fatigue Recovery, Competitive Sports, Sports Nutrition, Technology Support

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

近年来,随着体育赛事国际化的不断发展和跨境参赛运动员数量的迅速增多,时差反应及其疲劳恢复对运动员的影响研究已经成为运动医学、生物节律学和运动科学等专业领域的热点问题[1]。时差疲劳对运动员竞技水平的发挥产生严重影响,运动员在旅行和比赛期间如何适应包括气候变化、旅途疲劳和环境改变等情况变化、高水平运动队如何提高抗时差疲劳的专业技能已成为体育赛事科技保障工作的重要环节之一[2]。本文对时差疲劳影响运动员的相关表现及其干预研究进展进行综述与展望,以期为提高竞技体育科技发展提供理论依据和新的思路。

2. “时差疲劳”的概念与基本表现

时差疲劳(Jet Lag Disorder, JLD)是指快速跨越多个时区后,人体昼夜节律系统与环境周期不同步引发的生理功能失调综合征。其属于运动医学研究范畴,主要表现为睡眠觉醒周期紊乱、日间功能障碍及胃肠症状[3]。研究显示,昼夜节律作为人体内源性计时系统,通过精准调控从整体生理到细胞代谢的多层级过程,包括核心体温、皮质醇、血压、心率以及主观警觉性、认知表现、饥饿、主观疲劳,甚至嗜睡等生理和生化指标存在的昼夜节律变化,而时差疲劳的核心机制为位于下丘脑视交叉上核(SCN)的主生物钟与目的地光照周期失同步,引发褪黑激素分泌节律紊乱和机体的行为、生理、生化等各个层面的节律紊乱[4]。

人体昼夜节律周期约为 24.2 小时,每日最大可调节范围约 1~2 小时,因此跨越时区越多,适应时间越长,向东飞行需更长时间调整(每向东跨越一时区约需 1 天)。时差反应症状呈现方向性差异:向东飞行表现为入睡困难与早醒,向西飞行则过早入睡及黎明早醒。共同症状包括日间疲劳、注意力下降(降幅达 30%~50%)、情绪波动及食欲减退。年轻人和褪黑激素分泌异常者症状更显著,昼夜节律相位标记中,核心体温最低点前后 2 小时为睡眠最深时段,时差导致此相位与目标作息错位,引发睡眠结构紊乱[5]。“时差疲劳”导致的生理功能紊乱包括:(1) 睡眠障碍:失眠、睡眠碎片化、早醒或嗜睡是首要和最明显的症状。(2) 内分泌失调:皮质醇(压力激素)、褪黑素(睡眠激素)的分泌节律被打乱,影响恢复、免疫和能量代谢。(3) 核心体温节律变化:体温峰值时间与目标比赛时间不匹配,而运动表现通常与体温峰值同步。(4) 胃肠道问题:食欲不振、消化功能紊乱,影响营养摄入和吸收或有水土不服表现[5]。美国睡眠医学学会提供了有关飞行时差症状的诊断标准:A. 跨越至少两/三个时区的飞行后有失眠或白天过度嗜睡的状况;B. 在飞行结束后一两天内,出现日间功能障碍、全身不适或躯体症状(肠胃不适等);C. 睡眠障碍症状不能用医学或神经障碍、精神障碍等进行更好地解释时,定义为时差综合症[6]。

时差疲劳的检测可从多方面进行,包括利用褪黑激素指标进行检测时差症状的变化规律、利用核心体温的变化反映时差症状等、采用血压等指标研究时差影响昼夜节律相位的变化等等,但大多都是围绕时差症状的某一维度或指标进行检测,无法做到多指标综合测量[7]。有学者通过便携式、接触式可穿戴生理传感器,客观定量测量人体的脑电、心电、脉搏、呼吸、皮电、肌电等生理指标进行评估,或通过检

测血红蛋白、褪黑色素、微生物等生化指标的变化包括血糖、血乳酸、凝血时间、血清折光率、血清蛋白以及血中肾上腺皮质激素、电解质浓度、Na/K 比等进行评价[8]。除了昼夜节律失调造成的身体反应外, 时差疲劳还存在疲劳等心理问题[9]。近年来利用智能手环等设备检测身体活动程度, 实时跟踪记录包括睡眠时长、入睡所需时间、中断次数和睡眠质量等[10]。由于受限于工作环境条件, 目前多数测量还集中使用量表/问卷工具, 未来需要更多的改进。

3. 时差疲劳对运动员的影响

研究表明, 时差疲劳对运动员群体的跨国训练或参赛成绩会产生较多的全方位的负面影响, 包括生理层面(睡眠、消化、免疫)、运动表现层面(力量、耐力、技巧)、心理层面(认知、情绪), 需通过适应性训练调整生物节律[11]。

1. 生理功能紊乱: 时差疲劳对运动员的生理功能会产生复杂和系统的负面影响, 由于旅行疲劳造成的不适与压力, 舱内环境(低氧、低湿度)、久坐、睡眠剥夺、饮食改变等造成身体机能下降, 并可引起个体疲劳、不适、睡眠障碍、认知功能下降, 胃肠功能紊乱、注意力下降, 免疫力降低: 易感染疾病[12]。已明确因快速跨越多个时区导致的内源性生物钟与外部环境(光照、社会活动)失去同步, 运动员需面临跨多个时区飞行造成的时差综合症(JLD)、昼夜节律睡眠障碍(CRS-Ds)等负面因素的影响[13]。Janse 等人研究了跨时区运动员的疲劳与时差多因子模型, 指出时差反应主要受外部因素影响, 飞行方向和距离, 特别是跨越时区的数量将影响时差症状的严重程度, 而身体恢复却依赖于人体内部生物钟的重新同步[14]。另外, 关于时差疲劳与飞行职业健康的问题也有类似研究, 对长途航班尤其是跨时区航班飞行员时差疲劳情况的调查显示, 经常穿越多个时区的飞行员有时差症状和疲劳健康问题。

伦敦大学联合英国民航驾驶员协会发起的一项调查结果发现, 有 45% 的飞行员表示在工作时会“严重疲劳”, 其中有 43% 的飞行员报告驾机时打瞌睡, 并出现两名飞行员空中同时睡着的情况。向东飞行中机组人员机上睡眠质量较差, 睡眠时长较短; 相较于南北向飞行的国际航班, 东西飞行方向的跨多时区飞行使得机组人员生理节律和目的地的时间不同步, 打破了内源钟与环境钟的平衡, 更易导致时差疲劳反应, 东飞航班飞行员疲劳感受高于西飞飞行员[15]。

2. 影响运动能力: 包括(1) 有氧能力: 最大摄氧量和耐力表现通常在抵达后 1~3 天显著下降, 东部飞行(相位提前)通常比西部飞行(相位延迟)影响更大。运动员跨国参赛时, 时差反应可降低短跑爆发力(5%~10%)、射击准确性(15%~20%)及有氧耐力(8%~12%)。其机制涉及体温峰值相位偏移, 导致肌肉力量、柔韧性及代谢率同步下降[15]。(2) 力量与爆发力: 最大肌肉力量、冲刺速度和跳跃高度可能暂时降低, 反应时延长, 与昼夜节律有关。(3) 技术表现: 需要精细操作精度和协调性, 决策能力的运动(如射击、网球)受影响明显, 射击准确性受损下降 15%~20% [16]。耐力项目: 长跑、游泳等受体力下降影响显著, 技巧项目: 体操、跳水等因注意力下降影响技术发挥, 力量项目如举重、摔跤等受最大力量降低影响, 团队项目如足球、篮球等因沟通协调障碍影响团队表现[17]。(4) 有关精英运动员睡眠影响的研究主要集中在体能主导类速度性项目和耐力性项目, 技能主导类表现难美性项目和同场对抗性项目。精英运动员的睡眠问题普遍存在, 关键影响因素涉及比赛时间、训练负荷、海拔的变化、航空旅行的时间和方向[18]。高子栋等研究表明, 航空旅行中的睡眠障碍主要归因于时差(昼夜节律错位)和旅行时间对习惯性睡眠时间的侵占, 有证据显示清晨或深夜的飞行出发时间和向东飞行会降低运动员睡眠质量[19]。(5) 主观疲劳感: RPE(自觉用力程度)增加, 完成相同强度训练感觉更吃力, 而且不同运动项目的影响差异。未来的研究应进一步探索不同运动项目和个体差异对睡眠的影响, 以便为运动员提供更为科学的睡眠管理策略。

3. 运动表现下降: 运动员跨越多个时区的飞行可导致昼夜节律紊乱, 到达目的地后新日程的干扰(训练、比赛、用餐时间)对节律的进一步挑战, 都对运动表现产生不利影响。研究表明, 未进行节律调整的

运动员, 抵达目的地后前三天运动成绩显著低于基线水平。耐力型项目运动员受影响程度高于力量型项目。在极限运动中, 生理系统的协调和适应能力更为关键。如斯巴达超级马拉松中, 欧洲选手因时差优势可能表现得更好[20]。有人于高水平运动队中发现, 跨国训练/比赛的时差影响以及大运动量刺激等因素会造成运动员的睡眠-觉醒节律性紊乱, 部分运动员出现失眠症状, 严重影响运动状态, 并成为影响竞技运动能力及运动寿命的潜在危险因素。有人发现时差反应能够使运动员机能状况发生改变, 竞赛状态明显下降, 运动员在跨时区参加比赛前应调整竞赛状态及机能状况, 以尽快适应新的时间环境, 减轻时差对运动成绩的影响[21]。

4. 恢复与健康风险: 包括时差疲劳导致的免疫抑制、恢复延迟、伤病风险以及心理与认知功能受损。免疫抑制主要是指上呼吸道感染风险在长途旅行后显著升高(“开窗理论”)[22]。恢复延迟是指蛋白质合成、糖原再合成等恢复过程效率降低。伤病风险主要包括因疲劳、注意力不集中和协调性下降, 受伤概率增加。认知能力下降指注意力、警觉性、记忆力和快速决策能力受损, 增加受伤风险以及对训练和比赛的期待感降低与动机下降, 情绪波动如易怒、情绪低落等[23]。

5. 时差疲劳的机制研究进展: 时间生物学研究表明, 时差疲劳的机制包括以下方面: (1) 昼夜节律紊乱破坏运动适应性。时差的核心问题是身体生物钟(昼夜节律)与目的地时间不同步, 昼夜节律紊乱导致在运动训练中神经肌肉的协调性下降和恢复效率降低[24]。(2) 昼夜节律错位侵占习惯性睡眠时间。(3) 时差基因调控研究: 生物体内的生物钟通过时钟基因反馈回路自主产生昼夜节律, 时钟基因是导致运动表现差异的原因之一。通过多靶点、多途径的方式研究药食同源植物调节时钟基因(如 BMAL1、PER2)的表达、平衡神经递质(GABA, Glu)抑制炎症反应等过程, 起到从整体调节时差疲劳恢复睡眠-觉醒节律的作用。有研究发现, Cry1/2 作为过氧化物酶体增殖物激活受体 δ 共抑制因子可调控运动能力; Per1/2 双敲除小鼠在择时运动中并未显示出运动持续时间和血糖水平的差异; 肌肉特异性 Bmal1 基因敲除可致小鼠肌纤维类型向 I 型转变。大脑/肌肉芳香受体核转位因子样蛋白 1、昼夜运动输出周期蛋白、Period 及 Cryptochrome 等基因对哺乳类动物的生物钟调控起着重要的作用[25]。近年提出了肌肉时钟、运动直接影响肌肉时钟、运动时间影响肌肉时钟调控基因的表达等概念。唐朝等对关于骨骼肌昼夜节律的研究发现: 1) 骨骼肌核心生物钟通过调控时钟控制基因、骨骼肌调节因子以及线粒体呼吸从而影响骨骼肌质量、结构功能以及线粒体功能[26]。2) 骨骼肌会因运动等外部信号改变生物钟基因振荡, 重新调整骨骼肌昼夜节律, 促进健康。3) 在上午进行锻炼, 主要改善睡眠健康和肌生成; 在下午/傍晚进行锻炼, 主要改善代谢健康并且有利于运动表现。4) 在微重力环境下, 运动可能通过调节生物钟基因表达改善睡眠不足与昼夜节律紊乱[27]。5) 中医学“子午流注”理论与现代“生物钟”研究有异曲同工之妙。研究发现针刺和推拿疗法不仅通过调控与睡眠相关的神经递质(包括 5-羟色胺、5-吲哚乙酸等)及激素对机体的睡眠倾向进行调节, 还可通过调节褪黑素节律良性调节睡眠-觉醒周期, 以及在体温节律紊乱中起到加速恢复效应[28]。

4. “时差疲劳”的综合干预策略

如何科学地进行运动员赛前竞技状态调控, 快速恢复跨多时区飞行产生的疲劳是运动员保持正常机能、增强竞技运动能力、提高运动成绩的重要因素, 制定一个科学与前瞻性的策略进行有效的管理干预方案对运动员具有重要作用。目前研究发现可从调节光照、运动疗法、饮食营养干预以及针灸推拿等方面来调节昼夜节律。包括如下方面:

(1) 应用光照节律调整。

光照干预是时差调节的核心手段, 应优先使用光照调节、逐步适应、保持水分等行为方法[29]。向东飞行需晨间强光(蓝光波长)暴露以促进相位提前, 向西飞行则需傍晚光照延迟节律[30]。临床推荐飞行后

立即按当地时间作息, 日间户外活动 ≥ 2 小时。利用特定时间的光照(尤其是蓝光)和避光, 最有效地重置生物钟。此外, 还可进行个性化与精准化的生物钟类型评估, 区分为“晨型人”与“夜型人”, 制定个性化调整方案。晨型人西飞更易适应, 夜型人东飞相对容易。向东飞(如北京飞纽约)时早晨需要强光(晒太阳), 傍晚避免强光。向西飞(如北京飞伦敦)时下午和傍晚需要强光, 早晨可以戴墨镜避免过早清醒。在出发前数天进行渐进式作息调整, 每天将睡眠/进餐时间向目的地时间移动 1~2 小时。出发前、飞行中及抵达后, 根据飞行方向和目标作息, 在当地时间的特定窗口期(如上午需要相位提前则接受强光照射, 需要相位延迟则在下午/傍晚接受光照)进行光照管理。也可用专业的光照眼镜或 APP 计算光照时间, 对于短期旅行或时差反应不重者, 策略性使用在抵达后需要保持警觉的时段, 但避免影响夜间睡眠。睡眠优化可使用白噪音机、耳塞、眼罩、颈枕改善机上睡眠。抵达后短时小睡缓解困意, 但避免长睡影响夜间睡眠。总的来说, 光疗和避光能够有效改变昼夜节律, 缓解运动员时差反应症状。但个体差异较大, 且有大量内在和外在的干扰因素[31]。

通过量化分析体温波动、激素分泌节律等生物标志物, 结合光周期调节和营养干预等时间疗法, 可实现对训练刺激与生物钟相位的精准协同, 从而最大化人体代谢潜能与运动表现。其核心在于与睡眠-觉醒周期的动态同步, 直接影响有氧能力等关键运动参数。同时, 个性化训练计划需基于个体的生物钟类型(如晨型或夜型)及最佳机能时段设计, 以匹配肌肉代谢节律与能量供应的高效窗口[32]。可以采用分期适应策略: 对于重大赛事(如奥运会、世锦赛), 提前足够时间(通常每跨越 1 个时区需 1 天适应)抵达赛地是最有效但成本最高的方法。汤国进等基于运动员跨时区飞行后疲劳形成特征及影响因素特点, 探讨了运动员跨多个时区后竞技能力变化共性规律, 提出克服 JLD、CRS-Ds 有效调控策略, 为有效促进运动员最佳竞技状态的形成提供了参考与建议[33]。

(2) 运动疗法。

运动疗法通过骨骼肌生物钟与视交叉上核耦合加速节律调整。定时进行有氧运动(如当地时间上午 8~10 点跑步)可提升调整速率 30%~40%。瑜伽等低强度运动同样有效, 但需避免睡前剧烈运动[34]。骨骼肌作为运动的动力结构和直接效应器官, 可受到时钟基因调节参与各项生理功能与活动, 骨骼肌中时钟基因数量庞大, 运动可以调节骨骼肌中的分子时钟, 影响昼夜节律并起到良性的调节作用。建议在抵达目的地后进行适度的户外活动, 避免长时间小睡(不超过 30 分钟) [35]。明确运动训练后骨骼肌时钟基因的变化趋势、在观测竞技体育及运动促进健康的时间生物学效应、探讨择时训练的内在机制等方面有重要意义。有研究报道耐力训练运动员的培养原代肌管中保留了 SIRT1 和 NAMPT 的节律核心时钟机制的状态可能在调节运动的分子反应中至关重要[36]。

(3) 针灸推拿。

刺激特定穴位能调节褪黑素等与睡眠相关的神经递质。针灸推拿内关、足三里、神门、三阴交等穴可宁心安神、缓解失眠、调理脾胃。另外, 练习八段锦、太极拳等舒缓运动有助于调和气血、静心凝神, 可发挥整体预防与干预作用。

5. “时差疲劳”的膳食与营养干预

“时差疲劳”的膳食补充与营养品使用包括调整进餐时间以同步外周生物钟、增加旅途飞行中和抵达后的水分摄入、使用膳食补充剂与营养品等方面。

1. 膳食补充

通过食物和营养素可以影响褪黑素的合成, 并管理好光线暴露和进食时间。坚持“定时进食 + 补充剂(必要时) + 光线管理”三驾马车, 可以减轻时差疲劳。通过辅助补充剂, 均衡饮食、充足水分作为基础、同时结合规律的光照和睡眠习惯。第一阶段: 出发前准备(飞行前 1~3 天)目标: 提前适应目的地时

区,为身体“重置”做准备。调整进食窗口(推荐 16/8 轻断食法),空腹状态能帮助重置肝脏和肠道等外围生物钟,将每日进食时间控制在 8 小时内,空腹 16 小时。到达目的地后,在当地早餐时间开始进食,能向身体发出强烈的“现在是早晨”信号。增加关键营养素储备:色氨酸是合成褪黑素和血清素(助眠、改善情绪)的原料。多吃家禽肉蛋、酸奶、坚果等富含色氨酸的食物与富含 B 族维生素食物,其中 B6 是合成褪黑素的关键辅酶,缓解飞行疲劳增加的氧化压力。第二阶段:飞行途中要保持水分,减轻身体压力,为抵达后睡眠做准备。绝对避免酒精和咖啡因,二者都会严重脱水,干扰睡眠结构并加剧时差反应。第三阶段:抵达后迅速让身体调整适应新时区,严格按当地时间进食,最快地重置消化系统生物钟。

2. 营养补充剂的使用

(1) 褪黑素(MT)

褪黑素(N-乙酰基-5-甲氧基色胺)是一种具有广泛细胞和生理作用的激素,被视为体内昼夜节律的生物标志物和调节睡眠-觉醒周期的关键激素[37]。褪黑素具有半衰期短、有效改善睡眠及增强体能等优点,目前已被用作运动员的天然补充剂。美国食品和药物管理局(FDA)将褪黑素用作食物补充剂来抵消松果体活性的降低,欧洲食品安全局(EFSA)制定褪黑素作为膳食补充及监管指南,并支持使用其治疗睡眠障碍和时差反应[38]。对于跨越多个时区(特别是向东飞行)的旅行,低剂量褪黑素是目前最受认可、相对安全的辅助选择。一般在目的地就寝时间前服用,如果向东飞(如中国飞欧洲),在航班后半段、准备按目的地时间睡觉时服用小剂量(0.5~3 毫克),但务必注意服用剂量和时间(过早或过晚可能适得其反),褪黑素非安眠药,不会导致昏睡,避免白天服用。向西飞行(如中国飞美国西海岸)作用不明显,但也可在目的地睡前服用,帮助适应稍晚的睡眠时间。抵达后继续补充褪黑素,在目的地睡前 30~60 分钟服用,持续 3~5 天,直到睡眠规律。服用剂量一般建议低剂量(0.5~3 毫克)即可有效,高剂量(5~10 毫克)更适合催眠。外源性褪黑素在运动人体中使用普遍没有副作用且与身体表现之间存在明显的关联,是一种能用于时差疲劳的运动营养品。研究认为,褪黑素对重新调整睡眠周期和时差不良反应非常有益,对于跨时区参赛的运动员更容易获得最佳运动表现。5 项抗阻运动实验数据中,外源性褪黑素给药后表现出生长激素浓度下降,氧自由基吸收能力增加,脂质过氧化水平降低,对氧化应激表现出积极作用[39]。此外,有研究将高水平体操运动员风险管理研究成果与中国体操队奥运会备战训练相结合,编写《中国体操队备战巴黎奥运会风险管理手册》,并纳入构建高水平竞技体操运动员参加重大赛事风险管理指标和参赛风险防范体系[40]。研究发现,7 项高强度间歇运动研究中,经外源性褪黑素干预后氧化应激标志物得到有效降低,抗氧化状态改善,糖代谢更好,运动员 DNA 损伤、肌肉损伤及酸痛程度降低、反应时间和速度性能等更快,对缓解间歇运动期间的心率升高有效,褪黑素具有低温效应,对耐力素质产生影响[41]。从大部分关于褪黑素与运动员的运动表现关系研究结果来看是有益的,但不论是利用褪黑素抗氧化抗炎特性来缓解运动损伤与恢复,或是提高运动员睡眠质量,或是其降温效应减弱运动期间的产热延长运动性能,都要根据运动员的状态、类型、时间等因素综合考虑。

(2) 咖啡因

咖啡因是一种中枢神经兴奋剂,它通过阻断大脑中使人产生睡意的“腺苷”受体,暂时提神醒脑,提高警觉性和认知功能,对抗日间睡意。在抵达后需要保持警觉的时段策略性使用,但避免影响夜间睡眠[42]。咖啡因不能直接“治愈”时差,但正确使用可以显著缓解日间困倦和疲劳,帮助在新时区有效调整作息。研究发现,在下午或傍晚摄入咖啡因,会延迟人体自身的生物钟(使褪黑素分泌高峰推迟约 40 分钟)。这在向西飞行(需要晚睡早起)时,可能有助于适应。相反,在清晨摄入咖啡因的影响则较小。最佳使用时机:到达后的早晨:在新时区的第一个清晨使用,可以有效对抗残留的“夜间”感觉。日间疲劳高峰:通常在下午 1~4 点之间(尤其是向东飞行后),可以小剂量摄入以度过最困倦的时段。绝对避免在睡

前 6~8 小时内摄入咖啡因, 否则会严重干扰当晚睡眠。

(3) 茶叶提取物

茶叶作为一种天然的植物化学调节剂有助于缓解不规律的光周期导致的生物钟紊乱, 茶中的主要活性物质茶多酚、茶碱和 EGCG 可以延长生物钟周期, 适应 $T = 26 \text{ h}$ 、 28 h 的地塞米松周期刺激。有研究通过建立三种时差模型(+6: 相当于向东飞行 6 个时区; -6: 相当于向西飞行 6 个时区; 12: 昼夜颠倒), 探索了六类茶的生物活性成分对哺乳动物生物钟及调整时差的影响。结果表明, 小鼠对不同时差模型的适应效果有所差异。白茶可以促进小鼠适应+6 时差; 红茶、黑茶和白茶可以促进小鼠适应-6 时差; 但六种茶均无法加快小鼠适应昼夜颠倒。另一研究表明饮用乌龙茶和黄茶能够延长小鼠生物钟自运行周期[43]。

(4) 植物补充剂

缬草根、甘菊、镁、L-茶氨酸等可能有辅助改善睡眠质量效果, 但对于调节核心生物钟(时差)的直接证据较弱。白藜芦醇的甲基化衍生物是天然多酚类化合物, 脂溶性高, 生物利用度高, 抗氧化能力强, 常见剂量 200~500 毫克/天。天然类黄酮川陈皮素, 可直接激活小鼠的 RORs, 增强时钟基因振幅。龙胆素等新化合物, 有可能成为有潜力的治疗昼夜节律紊乱新成分。紫檀芪是一种天然多酚类化合物, 具有较强的抗氧化、抗炎和代谢调节作用, 常与维生素 E、白藜芦醇等抗氧化成分合用增强抗氧化效果[44]。辣木富含功能性活性成分 γ -氨基丁酸, 具有抑制兴奋、缓解焦虑和镇静催眠的作用。张玉婷证明条叶榕黄酮等黄酮类化合物具有抗炎与类似益生元的活性, 可有效调节肠道菌群结构和代谢水平, 预防和改善机体因昼夜节律紊乱导致的损伤[45]。也可选人参、南非醉茄、灵芝、红景天等具有适应原功能的植物提取物, 有助于身体适应压力, 改善睡眠质量。可以同时补充镁(甘氨酸镁或柠檬酸镁)、维生素 B 复合物(如甲基叶酸、甲钴胺), 加快色氨酸转化为褪黑素, 对抗时差反应疲劳。

(5) 益生菌

益生菌通过肠-脑-生物钟轴, 在调节昼夜节律、改善睡眠、缓解胃肠不适和降低应激反应方面展现出缓解时差疲劳的巨大潜力。研究表明, 益生菌对缓解时差反应具有潜在益处, 目前应用于时差保健的微生物相关制品主要为益生菌和后生元两大类, 前者主要指一些活的、摄入后可以给宿主带来益处的微生物, 而后者主要为可为宿主带来益处的无生命的微生物或其成分。益生菌一般于出发前几天开始服用, 可选择多菌株、高活菌数的产品。最佳服用时间、持续时间和剂量尚无统一标准。基于现有证据可以考虑: 1) 提前准备: 在计划跨时区旅行前 1~2 周开始服用经过验证的、针对情绪和睡眠的益生菌补充剂, 以帮助预先调节菌群。2) 选择可靠产品, 如标有明确菌株编号、高活菌数(通常 $\geq 10^9$ CFU)且保质期内稳定的产品。3) 综合调整: 益生菌作为综合调时差策略的一部分, 旅行及抵达后几天继续服用, 以支持菌群适应新环境。同时要配合光照管理、饮食调整, 帮助重置肠道生物钟。

益生菌对时差反应的作用机制有: 1) 直接调节中枢生物钟: 部分益生菌菌株(如瑞士乳杆菌)被证明可以增加宿主血液中的褪黑素前体(色氨酸)水平, 或直接促进松果体分泌褪黑素, 帮助调节睡眠。肠道菌群产生的代谢物(如短链脂肪酸 SCFAs)可通过血液循环或迷走神经信号影响大脑, 调控生物钟基因(如 Clock)的表达[46]。2) 稳定肠道生物钟: 研究表明, 哺乳动物时钟基因变异与肠道菌群稳态失衡密切相关。时差和饮食改变会迅速扰乱肠道菌群平衡, 破坏肠道生物钟。益生菌可以帮助维持肠道菌群稳态, 强化肠道屏障, 减少内毒素入血引发的全身性炎症反应[47]。3) 改善时差相关的胃肠症状, 包括消化不良、便秘或腹泻。益生菌(如乳杆菌和双歧杆菌)通过竞争性抑制致病菌、改善肠道蠕动、调节胆汁酸代谢等, 缓解胃肠道不适, 提高整体舒适度, 间接减轻疲劳感[48]。4) 调节神经递质与应激反应: 某些益生菌能产生或促进产生 γ -氨基丁酸、5-羟色胺等神经活性物质, 通过肠-脑轴影响情绪和压力反应, 缓解时差疲劳。益生菌可调节下丘脑-垂体-肾上腺轴, 降低由时差压力引起的皮质醇过度分泌, 有助于身体放松

和恢复[49]。鉴于每人在基础菌群构成、饮食和基因背景不同，导致个体差异较大，其作为标准推荐方案仍需更多大规模的试验来提供证据，未来将根据个体肠道菌群特征定制精准益生菌配方，且与益生元/后生元联用效果更佳。各种营养素调节生物钟的分子机制见图 1。

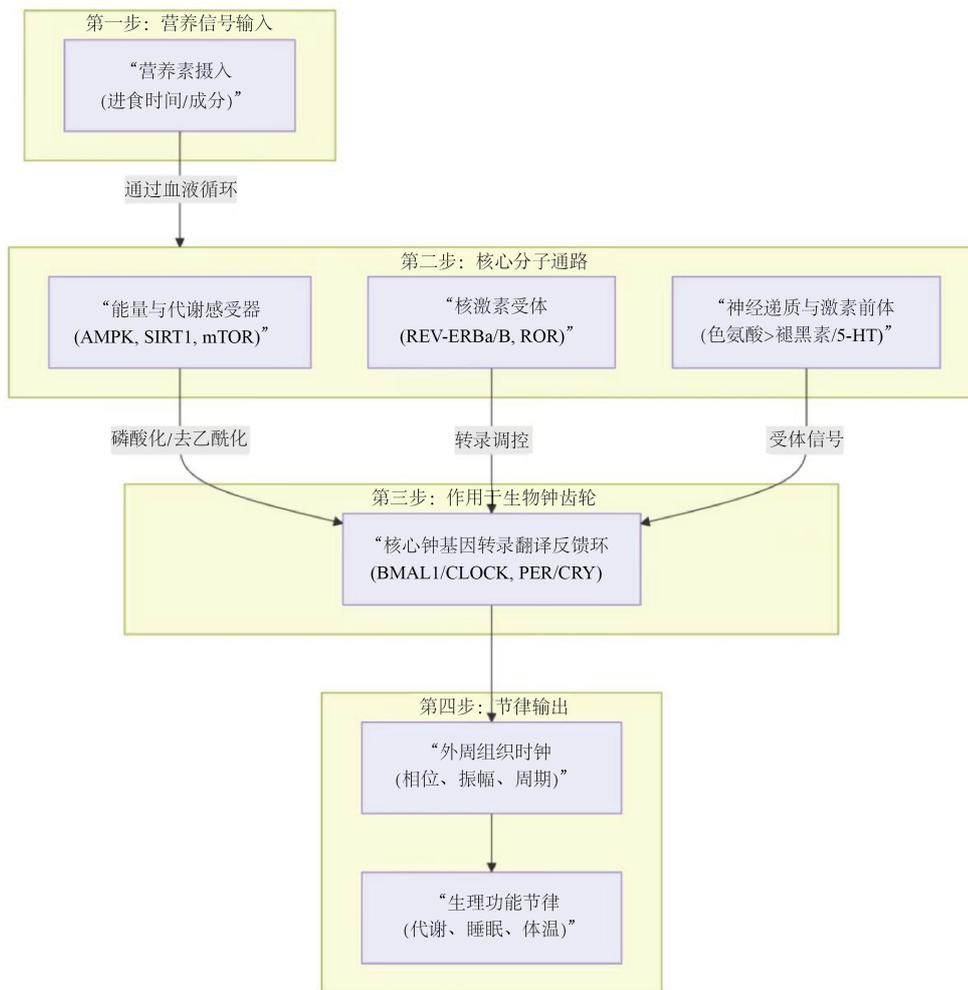


Figure 1. Diagram of the molecular mechanism by which nutrients regulate the biological clock
图 1. 营养素调节生物钟的分子机制图

(6) 药物治疗法以及使用原则

必要时谨慎使用非处方安眠药、处方安眠药，仅适用于严重失眠且行程重要的情况，并严格遵循医嘱，短期使用。常见成分包括短效镇静药(唑吡坦等)、苯海拉明、多西拉敏等。近年发现作用于新靶点的多种新型睡眠调节药，分为促眠药和促醒药，作用于 γ -氨基丁酸系统、褪黑素系统、促食欲素系统、组胺系统和单胺系统发挥干预作用。

6. 当前挑战与未来展望

目前时差疲劳研究存在的问题主要是样本量与研究设计局限性较大，现有高质量、大样本、针对跨时区旅行者的随机对照试验仍不足。未来把时差疲劳作为未来运动医学、运动营养调控领域的重要方面之一，新技术应用方向包括以下方面：(1) 坚持个体差异量化。应用高度个性化、基于生物钟原理的精准

干预,更简便、准确地预测运动员个体对时差疲劳的敏感度和恢复速度,以及多段旅行影响对于赛季中频繁跨时区的比赛,累积影响和长期健康后果的研究仍需深入。(2) 加强评估测试研究。整合基因、生理、行为和环境数据,应用数学模型开发算法预测个体时差恢复曲线和最佳表现窗口,为运动员在重大比赛前制定最优旅行适应方案与训练比赛计划,以最小化节律紊乱,最大化赛场表现。结合宏基因组学、代谢组学等学科的多组学整合,建立更客观的时差疲劳评估测试指标(如认知测试、生物标志物)。(3) 利用可穿戴设备通过监测心率变异性、睡眠质量和体温变化,客观评估运动员的节律状态和恢复水平。(4) 重视“心理时差”。对旅行和比赛环境的心理适应、社交节律的影响应该受到重视。目前从心理角度去诊断时差症状、对心理与认知功能受损的研究较少,应加强时差疲劳检测工具的开发。(5) 加强运动营养品研发。研发具有抗时差反应与疲劳的营养产品,为运动员对抗或减轻大运动量训练后时钟基因变化对机体的影响,科学合理安排训练计划,增强竞技运动能力或预防运动损伤提供实验依据与参考。

基金项目

广州市科学技术局 2023 年度行业科技协同创新中心建设专题项目(2023B04J0529)。

参考文献

- [1] Caldwell, J.A., Caldwell, J.L., Thompson, L.A. and Lieberman, H.R. (2019) Fatigue and Its Management in the Workplace. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **96**, 272-289. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.10.024>
- [2] van Rensburg, D.C.J., van Rensburg, A.J. and Schwellnus, M.P. (2019) Coping with Jet Lag and Protecting Athlete Health When Travelling. *Aspetar Sports Medicine Journal*, **8**, 214-222.
- [3] 马继政, 沙恒雅, 韩满朝, 等. 昼夜节律: 优化运动表现[J]. 体育科技文献通报, 2025, 33(7): 49-50.
- [4] 董毅. 生物节律与运动[J]. 中国体育科技, 2019, 55(4): 22-30.
- [5] 刘勇. 运动员的睡眠管理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2024: 29-34.
- [6] 黄耀伟, 于涟, 周继勇. 生物钟机制研究进展[J]. 生命科学, 2000, 12(1): 10-13.
- [7] 袁瑞, 王海牛. 高水平运动员竞技能力提升新思路-正向调节昼夜节律[J]. 沈阳体育学院学报, 2007, 25(2): 42-43.
- [8] 戴剑松, 徐小凤, 陈钢锐, 等. 基于可穿戴设备的高水平击剑运动员睡眠节律与训练负荷的关联研究[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2025, 46(2): 241-252.
- [9] 何秀萍, 陈新华. 时差与飞行疲劳[J]. 旅行医学科学, 1998(4): 49.
- [10] Roach, G.D. and Sargent, C. (2019) Interventions to Minimize Jet Lag after Westward and Eastward Flight. *Frontiers in Physiology*, **10**, Article 927. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00927>
- [11] 王玫. 时差对运动员的影响[J]. 辽宁体育科技, 2003(1): 30-31.
- [12] 季红光, 王海明, 潘祥福, 等. 时差反应与运动成绩[J]. 中国运动医学杂志, 2002, 21(2): 195-197.
- [13] 李爱红, 李军红, 李斌. 时差反应对运动能力的影响及应对策略[J]. 湖北体育科技, 2006, 25(6): 671-673.
- [14] Janse van Rensburg, D.C., Jansen van Rensburg, A., Fowler, P.M., Bender, A.M., Stevens, D., Sullivan, K.O., et al. (2021) Managing Travel Fatigue and Jet Lag in Athletes: A Review and Consensus Statement. *Sports Medicine*, **51**, 2029-2050. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01502-0>
- [15] 孙军亚. 长途航班飞行机组疲劳与时差问题研究[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(5): 16-17.
- [16] Samuels, C.H. (2012) Jet Lag and Travel Fatigue: A Comprehensive Management Plan for Sport Medicine Physicians and High-Performance Support Teams. *Clinical Journal of Sport Medicine*, **22**, 268-273. <https://doi.org/10.1097/jsm.0b013e31824d2eeb>
- [17] (美)贝恩德海因里希. 生物钟与抗衰老革命[M]. 毛大庆, 译. 杭州: 浙江科学出版社, 2025: 137-148.
- [18] 张舒, 张普, 藏威. 时差反应对运动能力的影响及消除方法[J]. 体育科技文献通报, 2009, 17(1): 31-32.
- [19] 杨焕, 燕西康, 李东方, 等. 飞行疲劳的研究进展[J]. 中国现代医生, 2012, 50(29): 27-28.
- [20] 房国梁, 瞿超艺, 赵杰修. 时差反应对运动员的影响及应对策略[J]. 中国运动医学杂志, 2015, 33(9): 25-27.
- [21] 陈宏. 体育竞赛与时差反应[J]. 哈尔滨体育学院学报, 2003, 21(2): 7-8.

- [22] 林立建, 王国坤. 体位性低血压与血压昼夜节律的相关性[J]. 中华高血压杂志, 2022, 30(10): 980-984.
- [23] Potter, G.D.M., Skene, D.J., Arendt, J., Cade, J.E., Grant, P.J. and Hardie, L.J. (2016) Circadian Rhythm and Sleep Disruption: Causes, Metabolic Consequences, and Countermeasures. *Endocrine Reviews*, **37**, 584-608. <https://doi.org/10.1210/er.2016-1083>
- [24] 横堀荣, 许建国. 时差综合症与相应措施[J]. 体育科研, 1983, 20(7): 15-17.
- [25] 丁海丽, 傅泽铤, 夏雨. 大负荷运动后骨骼肌核心时钟基因 *Bmal1/Clock*、*Cry1/Per1* 的节律性振荡变化趋势[J]. 中国体育科技, 2023, 59(7): 90-97.
- [26] 唐朝, 汪毅. 骨骼肌昼夜节律介导运动健康促进的生理机制[J]. 中国体育科技, 2025, 61(2): 63-72.
- [27] 黄超, 陈海龙, 王春燕, 等. 模拟微重力条件下 NRF2 调节节律基因震荡作用[J]. 生物医学杂志, 2023, 40(2): 14-19.
- [28] Acosta-Rodríguez, V.A., Rijo-Ferreira, F., Green, C.B. and Takahashi, J.S. (2021) Importance of Circadian Timing for Aging and Longevity. *Nature Communications*, **12**, Article No. 2862. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22922-6>
- [29] 谢能翔, 赖春柏, 曾繁华. 刮痧治疗时差变化综合征临床观察[J]. 中国中医药现代远程教育, 2020, 18(7): 67-68.
- [30] 李敬强, 周妍汝, 张希凝, 等. 东西飞行方向国际航班飞行机组疲劳研究[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(5): 26-27.
- [31] Thaiss, C.A., Zeevi, D., Levy, M., Zilberman-Schapira, G., Suez, J., Tengeler, A.C., *et al.* (2014) Transkingdom Control of Microbiota Diurnal Oscillations Promotes Metabolic Homeostasis. *Cell*, **159**, 514-529. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.09.048>
- [32] 汤国进, 张婷婷. 运动员跨时区参赛竞技状态调控模式研究[J]. 山东体育学院学报, 2022, 38(5): 88-95.
- [33] 黄华生, 吴晓君, 王晨宇, 等. 昼夜生物节律对自行车运动员运动能力的影响与机制[J]. 中国体育科技, 2016, 52(6): 107-114.
- [34] 黄增浩, 康良, 胡毓诗, 等. 骨骼肌时钟基因与生理功能及活动研究进展[J]. 中国运动医学杂志, 2020, 39(8): 644-648.
- [35] 黎涌明, 邱俊强, 徐飞, 等. 奥运会运动员竞技表现提升的非训练类策略-基于国际创新成果与实践应用[J]. 北京体育大学学报, 2020, 43(9): 46-47.
- [36] 刘哲宇, 孙铮. 褪黑素代谢模式的研究进展[J]. 生命科学, 2017, 29(2): 209-214.
- [37] Cardinali, D.P. (2018) Melatonin as a Chronobiotic/Cytoprotector: Its Role in Healthy Aging. *Biological Rhythm Research*, **50**, 28-45. <https://doi.org/10.1080/09291016.2018.1491200>
- [38] 董庆盈, 陶瑾, 陈彦君, 等. 5 种青稞褪黑素及活性物质抗氧化性评价[J]. 食品工业, 2025, 46(3): 103-105.
- [39] 赵娟娟, 刘雅贞. 高海拔地区军事人员睡眠障碍及褪黑素的应用研究[J]. 空军航空医学, 2024, 41(3): 193-197.
- [40] 崔洪伟, 张忠霞, 高名同, 等. 褪黑素和心率变异性与昼夜节律的相关性研究[J]. 山东医药, 2008, 48(34): 10-13.
- [41] Jiki, Z., Lecour, S. and Nduhirabandi, F. (2018) Cardiovascular Benefits of Dietary Melatonin: A Myth or a Reality? *Frontiers in Physiology*, **9**, Article 528. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00528>
- [42] 崔素颖, 秦宇, 张永鹤. 睡眠调控与睡眠调节药物研究进展[J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2022, 36(11): 801-811.
- [43] 周方, 欧阳健, 黄建安等. 茶多酚对肠道微生物的调节作用研究进展[J]. 茶叶科学, 2019, 39(6): 198-199.
- [44] 吴宽, 牟泓羽, 杨瑜芳, 等. 辣木核桃乳的研制及其对小鼠睡眠改善作用[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(20): 93-99.
- [45] 张益, 谢红军, 刘雁勇. 以褪黑素及其受体为靶点的中药研究进展分析[J]. 西藏科技, 2022, 350(5): 55-56.
- [46] 张颂, 李兆申. 特殊环境对生物钟和肠道菌群影响的研究进展[J]. 海军军医大学学报, 2024, 45(9): 1051-1058.
- [47] 田培郡, 蒋娇娜, 吕天凤. 靶向肠道菌群改善失眠的研究进展及展望[J]. 食品与发酵工业, 2022, 52(15): 305-308.
- [48] 郭玉梦, 崔杨霖, 张宪忠. 基于孟德尔随机化探讨肠道菌群与失眠的因果关联研究[J]. 中国全科医学, 2025, 28(8): 954-961.
- [49] 张颂, 张桓伟, 郑雨阳, 等. 靶向肠道菌群改善生物钟紊乱的研究进展[J]. 海军军医大学学报, 2025, 46(9): 1183-1188.