

男性生殖功能的时间周期性节律

姜晓涵*, 江秀琳, 卢雅琪, 徐慧, 张红波#, 史晓普#

湖州学院生命健康学院, 浙江 湖州

收稿日期: 2026年5月17日; 录用日期: 2026年6月17日; 发布日期: 2026年6月26日

摘要

目的: 探索男性生殖功能在昼夜、季节、生命周期三个时间维度的节律特征与调控机制, 揭示节律紊乱和生殖功能的关系。方法: 从PUBMED、中国知网两个数据库中搜索近十年有关昼夜、季节和生命周期三个时间维度与生殖功能关系的文献, 探索男性生殖功能的节律表现与生物钟、HPG轴等调控机制。结果: 研究表明, 男性生殖功能在昼夜、季节与生命周期上均呈现节律, 由生物钟与HPG轴调控, 其紊乱关联生殖健康下降。结论: 深入理解男性生殖节律时间周期, 可为优化生育力评估与不育症干预提供指导, 对提升男性生殖健康防治水平意义重大。

关键词

男性生殖, 周期, 节律

The Circadian Rhythm of Male Reproductive Function

Xiaohan Jiang*, Xiulin Jiang, Yaqi Lu, Hui Xu, Hongbo Zhang#, Xiaopu Shi#

School of Life and Health, Huzhou University, Huzhou Zhejiang

Received: May 17, 2026; accepted: June 17, 2026; published: June 26, 2026

Abstract

Objective: To investigate the circadian rhythm characteristics and regulatory mechanisms of male reproductive function across three temporal dimensions—day-night cycle, seasonal variations, and life cycle, and to elucidate the relationship between circadian rhythm disruption and reproductive function. **Methods:** Literature from the past decade on the relationship between circadian rhythm, season, and life cycle dimensions with reproductive function was searched in two databases—PUBMED and China National Knowledge Infrastructure (CNKI)—to investigate the rhythmic patterns of

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 姜晓涵, 江秀琳, 卢雅琪, 徐慧, 张红波, 史晓普. 男性生殖功能的时间周期性节律[J]. 护理学, 2026, 15(6): 293-303. DOI: 10.12677/ns.2026.156206

male reproductive function and its regulatory mechanisms, such as the biological clock and the hypothalamic-pituitary-thyroid (HPG) axis. Results: The study demonstrates that male reproductive function exhibits circadian, seasonal, and life-cycle rhythms, regulated by the biological clock and the hypothalamic-pituitary-gonadal (HPG) axis. Disruption of these rhythms is associated with impaired reproductive health. Conclusion: A comprehensive understanding of the male reproductive circadian rhythm cycle can provide guidance for optimizing fertility assessment and infertility intervention, which is of significant importance for enhancing the prevention and management of male reproductive health.

Keywords

Male Reproductive System, Cycle, Rhythm

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. 背景

生物节律[1]是从单细胞生物至高等哺乳动物[2]普遍存在的时间调控模式,是机体适应地球自转、公转等环境周期变化的核心生物学基础。昼夜节律[3](约24小时周期)调控睡眠-觉醒与代谢以维持稳态;季节节律[4](以年为周期)驱动繁殖等关键生命活动,二者共同构成生物适应环境时序的基本框架,其紊乱可引发代谢疾病、免疫下降等健康问题。

在生殖生物学中,生物节律的调控作用已获较多关注。女性生殖周期(如月经周期)的节律研究较为系统,为生殖健康与辅助生殖提供了支撑。相比之下,男性生殖功能的节律性研究仍较薄弱。实际上,精子发生、激素分泌等环节均存在时间节律,这些特征与生育能力及生殖健康风险密切相关,亟待系统探索。

2. 文献筛查

通过系统性检索获取相关文献。主要以PubMed进行检索,中国知网(CNKI)为核心数据库进行检索。初步检索共获得相关文献236,经去重及由两名研究者独立进行的初筛(阅读标题与摘要),排除了大量不相关文献。随后,对通过初筛的文献进行全文精读,并依据预先设定的纳入与排除标准:纳入标准主要包括:(1)与研究疾病相关的原创性研究或系统性综述;(2)明确涉及该疾病的生理、病理或治疗方面;(3)研究对象为人类或动物;(4)中、英文全文可获得。

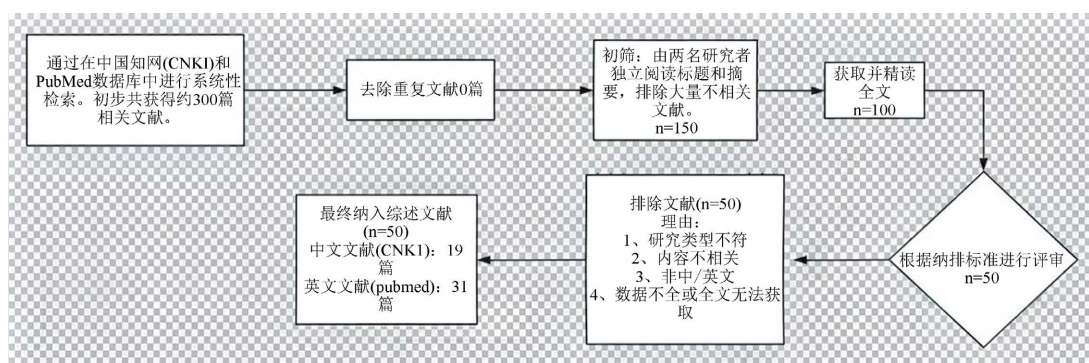


Figure 1. Literature screening flowchart

图1. 文献筛选流程图

排除标准主要包括：(1) 个案报告、会议摘要及评论性文章等非系统性研究；(2) 研究内容与核心主题无关；(3) 非中英文文献；(4) 数据不完整或无法获取全文。

经过标题/摘要初筛和全文精读两轮筛选，最终共有 74 篇文献被纳入进行严格复审，详见图 1。经过上述逐层筛选，最终共有 52 篇文献被纳入，其中包括 21 篇源自知网与 31 篇源自 PubMed，这些文献为本综述的论点形成了坚实的证据基础。

3. 不同时间维度的节律表现

3.1. 短周期节律 - 男性生殖功能的昼夜波动

男性生殖功能并非恒定不变，而是呈现出以 24 小时为周期的精密节律性波动，该波动汇总见表 1。唐颖等[5]提出，这一节律由高度整合的“中枢 - 外周”多层次时序系统调控，属于机体最基础的生物节律之一。Liu 等[6]研究进一步揭示，内源性生物钟是核心驱动力：一方面通过下丘脑 - 垂体 - 性腺轴(HPG 轴)实施中枢调控[7]；另一方面，在睾丸等外周器官中，CLOCK、BMAL1 等生物钟基因也会呈现节律性表达[8] [9]。

Table 1. Summary of studies on the impact of circadian rhythm/sleep patterns on male reproductive function
表 1. 昼夜节律/睡眠模式对男性生殖功能影响的研究汇总表

维度	研究人群	采样方法/频率	主要发现(节律特征)	是否验证统计节律
Ana Peterlin 等[18]	男性、小鼠、果蝇等	精液样本、血液样本	精液质量存在昼夜节律、季节节律	是
Kun Liu 等[19]	男性	横断面流行病学研究、纵向队列研究、实验室干预研究等	睾酮的昼夜节律主要由睡眠驱动，而非生物钟	是
Sydney Aten 等 [21]	工人	使用自填式问卷收集数据，实验室检测	与日间班工人相比，患有 SWSD 的轮班工人勃起功能显著更差	是
Katherine M. Rodriguez 等[14]	哺乳动物，男女两性	血液采样、行为观察、基因表达分析	睾酮早晨达峰；雌激素晚间达峰；精子质量下午最佳；性行为多集中于早晚	是
方丹等[10]	包括男性、倒班工作者、志愿者及小鼠模型	1、人体研究：在不同时间点采集精液样本。 2、动物实验：在不同光照周期下采样。	精液质量参数存在昼夜波动。光照、倒班、睡眠不足均与精液质量下降相关	是
朱安琪等[13]	包括不育男性、轮班工作者、健康志愿者、动物模型	1、人体研究：在不同时间点采集精液样本。 2、动物实验：基因敲除模型。	精液质量存在昼夜波动 人造光暴露 轮班工作 睡眠障碍 激素节律	是

昼夜节律最显著的生理体现是激素分泌的周期性变化[10]。作为关键雄激素[11]，睾酮的分泌自睡眠期间开始上升，清晨醒来时达到峰值[12]，随后在日间逐步下降，至夜间降至低谷[13]。Liu 等[11]研究显示，睡眠不足、昼夜节律紊乱和睡眠中断均与男性健康问题(如勃起功能障碍)相关。Rodriguez 等[14]研究显示，轮班工作睡眠障碍(SWSD)和夜班工作会显著损害男性勃起功能，而睾酮治疗可部分改善这一状况。Hernández-Pérez 等[15]研究显示，睡眠时长与睾酮水平的关联性性别与年龄而异，例如在中年男性中，睡眠过长与睾酮水平较低相关，而在中年女性中则呈现“J”型关联。这三项研究共同揭示了睡眠的时长、节律和质量与男性生殖内分泌健康(特别是睾酮水平和勃起功能)存在密切且复杂的联系，其中轮班工作

和睡眠障碍是重要的风险因素。Liu 等[16]研究进一步证实, 健康中年男性(55~64 岁)与年轻男性(23~33 岁)一样, 血清总睾酮、游离睾酮和生物可利用睾酮均保持显著的昼夜节律, 峰值出现在早晨 07:00~07:30 之间, 振幅虽略低于年轻人, 但节律未消失。此外, SHBG 的节律相位在下午出现, 与睾酮节律不同步, 提示睾酮波动主要受合成调控而非结合蛋白影响。

除激素调控外, 昼夜节律还深刻影响精子的生成与功能。马用信等[17]系统阐述了生物钟基因在男性生殖系统中的表达与功能, 指出生物钟失调可通过影响激素分泌、精子发生等途径损害男性生育力, 提示生物钟紊乱是男性不育的潜在风险因素。Peterlin 等[18]研究显示, 昼夜节律对男性生育能力有影响, 证据来自流行病学、动物模型以及人类遗传学研究, 但现有证据仍较为零散, 需要进一步研究以明确其作用机制及潜在的干预价值。Liu 等[19]通过分析大规模精子库数据及控制性实验, 首次明确揭示了人类精液参数存在昼夜节律性波动, 多数指标在日间(1100 至 1500 时)达到峰值, 为优化取精时间以提升辅助生殖成功率提供了实证依据。陈卿等[9]发现精子活力在下午可能达到最佳水平, 而精子浓度与 DNA 完整性则可能在上午更具优势。这一现象表明, 激素峰值与精子功能最佳表现的时间存在差异, 反映出生殖系统内部多层次、有时序先后的节律调控特点。

Zhu 等[20]人研究显示, 昼夜节律失调通过影响衰老、内分泌、夜班工作等因素, 可促进前列腺癌(PCa)的发生与发展; Aten 等[21]研究则表明, 节律紊乱(如轮班工作、睡眠剥夺)会导致精子质量下降、月经周期异常及生育能力降低, 而时钟基因缺陷则直接损害生殖功能与行为。由此说明了这一精密的节律系统易受年龄与生活方式[22]的影响。因此, 该昼夜节律系统的正常运转, 是维持男性正常生殖功能与长期生育力的重要基础, 一旦紊乱, 可能直接导致生殖内分泌失调与生精效率下降[23]。

3.2. 中周期节律 - 男性生殖功能的季节性适应

季节节律是生物体为适应地球公转引发的周期性环境变化而形成的精密调控系统, 其生物学基础依托于多层级协同的时序性调控网络。Watts 等[24]研究指出, 该网络以光周期信号经视网膜 - 松果体通路转化为褪黑激素节律为起点, 进而驱动下丘脑 - 垂体 - 性腺轴的重编程, 最终引发性激素分泌的季节性波动。其关键调控机制在于, 繁殖期中性类固醇受体在中枢神经系统及外周靶组织中的表达上调, 通过受体敏化效应实现组织对激素反应性的季节性放大。与此同时, Anwar 等[25]研究进一步揭示, 机体同步协调代谢支持系统, 一方面优化精子线粒体功能, 另一方面调节附属性腺分泌活性, 苏张瑶等[26]研究补充指出, 该系统从细胞能量供应与微环境稳态两个核心层面保障生殖过程的顺利进行。这一由环境授时因子驱动的多层次同步化系统, 确保了生物体的生理功能与行为表达在时间维度上的高度协同, 为繁殖活动的季节性开展奠定了关键的生理基础。

从进化视角分析, Xie 等[27]研究提出, 上述季节节律的精密调控体系并非偶然存在, 而是自然选择长期塑造的卓越适应策略。李波[28]进一步阐释, 这种基于内在生物钟的预见性调控, 使个体无需依赖不确定的瞬时环境信号, 即可提前启动生殖准备, 既最大化了后代存活率, 又实现了能量预算的最优分配。由此可见, 季节节律的进化意义, 正体现在这种通过时序精准控制达成的生存与繁殖效益最大化, 是生物长期适应周期性环境变化的智慧结晶。上述季节性节律对男性生殖功能影响的研究汇总见表 2。

Table 2. Summary of studies on the impact of seasonal rhythms on male reproductive function

表 2. 季节性节律对男性生殖功能影响的研究汇总表

维度	研究人群	采样方法/频率	主要发现(节律特征)	是否验证统计节律
Khurshaid Anwar 等[25]	荷斯坦公牛	在四个季节各采集 4 份精液样本/公牛	季节对年轻公牛影响更显著。	是

续表

Heather E. Watts [24]	脊椎动物	方法: 包括脑组织取样、mRNA 和蛋白质水平检测等 频率: 通常在繁殖季与非繁殖季进行对比采样	性类固醇受体在繁殖季常上调, 与求偶、交配行为同步, 呈现“增强”模式。	多数研究为相关性分析
Min Xie 等[27]	生育能力低下伴侣的男性	精液样本采集时间在 05:00~17:00 之间, 按时间分组; 按天文季节分组	春季精子浓度和总数最高, 夏季最低; 夏季正常形态率最高。	是
苏张瑶等[26]	男性不育患者	单次采集血清和精液样本进行检测和分析	精浆维生素 D 水平与精子浓度呈负相关, 与精液量呈正相关。	是

3.3. 长周期节律 - 男性生殖功能的生命轨迹

男性生殖功能呈现跨度长达数十年的漫长生理周期, 其核心调控机制依赖于下丘脑 - 垂体 - 性腺轴的精妙运作。李甜甜等[29]研究指出, 这一周期以青春期为启动标志, 遵循特定的发育时序: 在 HPG 轴重启的驱动下, 睾丸率先发育增大, 随后阴茎开始生长, 伴随阴毛出现, 最终以声音变粗为标志, 完成从儿童向成年男性的生理转变。秦灵鸽等[30]研究进一步阐释, 该过程由中医理论中“天癸”的至臻与现代医学中 HPG 轴的激素潮涌共同主导; 其中, 王彦飞等[31]研究揭示, 支持细胞分泌的抗缪勒管激素在胎儿期完成促进性分化的使命后, 于青春期后逐渐下降, 张岩等[32]研究补充指出, 这标志着生精上皮功能状态的关键转换, 为后续性成熟期的生殖功能稳定奠定基础。

青春期的发育成熟推动男性生殖系统进入性成熟期, 此时便迎来相对稳定的维持与巅峰阶段。程国隆等[33]研究提出, 这一时期, HPG 轴维持高效运转, 促性腺激素释放激素以脉冲式分泌, 驱动垂体释放促卵泡激素和黄体生成素[30]。邹鹏等[34]研究进一步阐明, FSH 与 LH 协同作用于睾丸, 支持细胞与间质细胞各司其职, 共同保障精子发生过程的顺利推进及睾酮的正常合成与分泌。Jensen 等[35]研究证实, 健康的睾丸微环境可维持理想的生殖参数, 包括正常的精子浓度、活力、形态及充足的精液量, 同时抑制素 B 等激素通过精细的反馈调节维持生精功能稳定, 使生殖系统处于高效运转的最佳状态。上述男性生命周期中生殖功能演变的多维度研究特征汇总见表 3。

Table 3. Multidimensional characteristics of the study on the evolution of reproductive function throughout the male life cycle
表 3. 男性生命周期中生殖功能演变的多维度研究特征表

维度	研究人群	采样方法/频率	主要发现	是否验证统计节律
Tina Kold Jensen 等[35]	健康丹麦年轻男性	单次采集精液和血液样本	自我报告的青春期较晚与精液质量差。	否
Ross J Marriott, PhD 等[46]	社区居住的男性	横断面分析; 单次血液采样	年龄 > 70 岁与总睾酮↓、LH↑相关。 高 BMI 与总睾酮、SHBG、DHT↓相关。	否
秦灵鸽[30]	肾阳虚雄性大鼠	实验结束后一次性采集血清及组织样本	从中医角度阐释“天癸”具有周期性调控生殖发育的特性, 与现代 HPG 轴功能相对应。	否
程国隆[33]	无精子症患者和 50 例生育健康男性	精液常规检测; 血清生殖激素检测; 睾丸穿刺	FSH、LH 与睾丸生精功能呈负相关; 睾酮与睾丸生精功能呈正相关。	否
王彦飞等[31]	男性胎儿、新生儿、儿童、青春期及成年男性	部分研究为单次采样	AMH 是男性性分化和睾丸功能的重要标志物; 精浆 AMH 与精子质量正相关。	否
张岩等[32]	男性胎儿、儿童、青春期及成年男性	未系统进行时间序列采样	AMH 参与性腺发育及 HPG 轴调控; 精浆 AMH 与精子参数相关。	否

基于上述内容，将三个表格的文献数据整合并输入 DeepSeek 平台，以生成男性生殖功能三个时间维度关联的示意图，详见图 2。

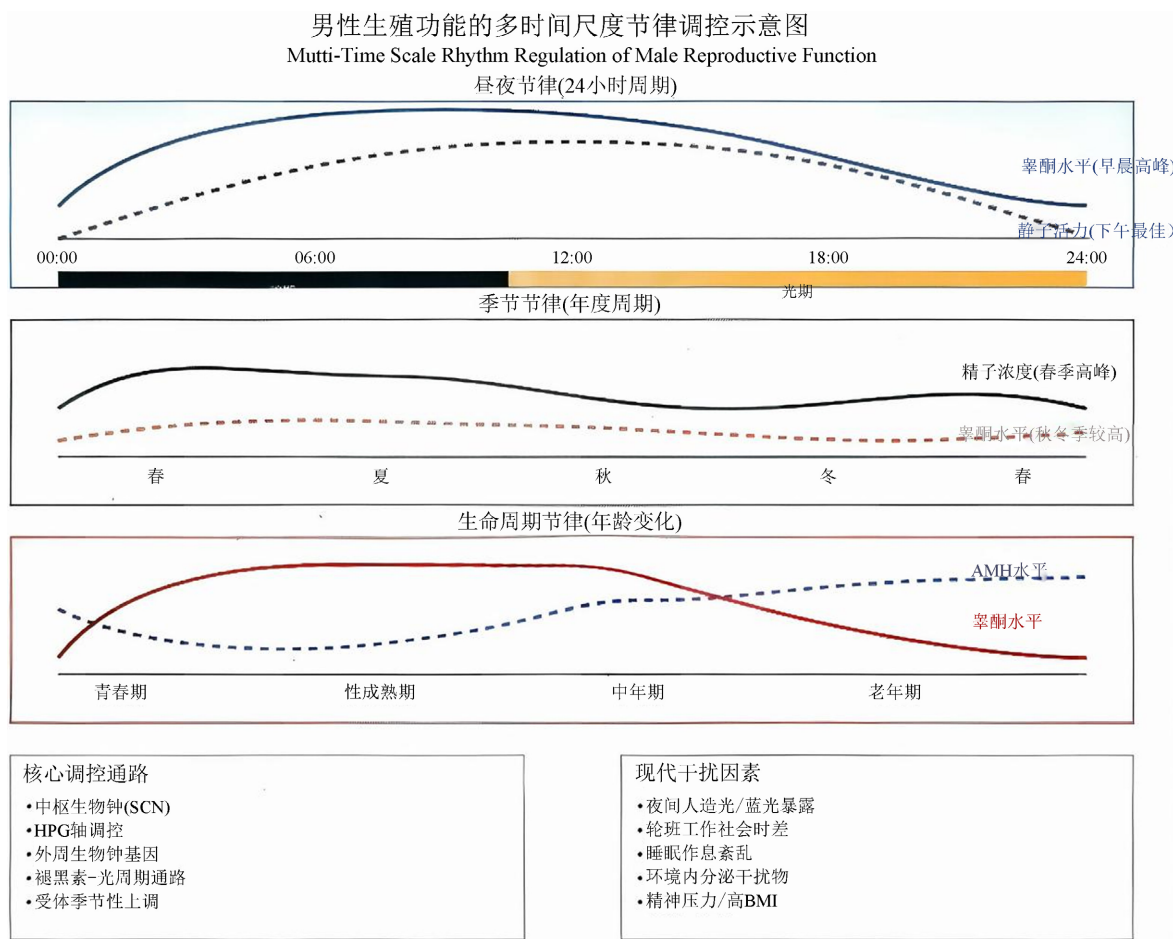


Figure 2. Multi-time rhythm regulation of male reproductive function
图 2. 男性生殖功能的多时间尺度节律调控示意图

4. 节律紊乱对男性生殖健康的影响

4.1. 现代生活方式的影响

现代生活方式中的多种因素，正持续干扰男性生殖系统的节律平衡，对生殖功能产生多维度负面影响，且相关作用机制已得到大量研究证实，详见表 4。

从节律紊乱的诱因来看，Sati 等[36]研究指出，不规律的轮班工作与频繁的跨时区旅行，会直接破坏内在生物钟与外界光暗周期的同步性；任玥等[37]研究进一步表明，长期睡眠不足与作息紊乱，动摇了节律系统维持稳定的基础；朱安琪等[13]研究发现，夜间过度的人造光暴露，则通过抑制褪黑素正常分泌，进一步削弱主生物钟的同步信号，这些因素共同对男性生殖内分泌系统构成重大挑战[38]。Kurta 等[39]研究揭示，现代生活中的人造环境，与机体固有、依赖自然光周期的内在生物钟之间，形成日益加剧的失同步，这种失同步本质上剥夺了生殖系统进行周期性优化与修复的自然环境信号。

在对生殖功能的具体影响层面，从激素调控角度，Sciarra 等[40]研究总结，节律紊乱会直接导致下丘脑-垂体-性腺轴功能失调。无论是遗传性的生物钟基因突变，还是行为性的睡眠剥夺，最终都会表现

为睾酮合成与分泌的节律异常[41], González-Sales 等[7]研究具体指出, 性腺功能减退男性的残余睾酮节律甚至会呈现更明显的不对称性。从睾丸与精子角度, Liu 等[42]通过动物实验证实, 生物钟基因在睾丸内的表达失调, 会直接扰乱生精上皮细胞的周期性分化过程, 导致减数分裂受阻和生精细胞凋亡增加, 陈卿等[9]研究进一步表明, 这会进而造成精液参数全面恶化, 表现为精子数量减少、活力下降、畸形率升高。同时, Zhong 等[43]的系统综述发现, 节律紊乱引发的显著氧化应激和炎症反应, 会导致精子 DNA 碎片率显著增加。此外, Harding 等[44]研究指出, 长期夜班、跨时区旅行及夜间蓝光暴露, 广泛扰乱褪黑激素分泌节律, 进一步导致 HPG 轴调控时序异常, 不仅直接削弱精子发生效率, 使精子浓度与活力的季节性高峰消失或幅度降低, 还可能与肾上腺源性激素节律紊乱产生协同作用。

通过相关研究的孟德尔随机化分析发现, 基因决定的晨型偏好与较低的总睾酮和生物可利用睾酮水平存在因果关系, 而睡眠时长与睾酮无显著关联。这一结果提示, 晨型生活方式可能通过影响激素分泌节律, 间接导致睾酮水平下降, 进而影响男性生殖健康[45]。

在生活方式相关的其他影响方面, 李甜甜等[29]研究提示, 青春期发育时相这一初始风险窗口, 若与 Jensen 等[35]研究揭示的高 BMI、吸烟等代谢及行为因素协同作用, 会对生殖功能造成不良影响。其中, 早发者表现为精子发生效率下降, 晚发者则更显著呈现睾丸内分泌功能受损, 除精子参数全面恶化外, 还伴随游离睾酮降低、促性腺激素反馈异常及 SHBG 升高, 提示生精 - 内分泌双重障碍。且 Marriott 等[46]研究表明, 这种发育编程异常在生命历程中, 会与肥胖、慢性疾病形成恶性循环, BMI 每增加 1 单位可导致睾酮水平下降 2.42 nmol/L, 显著加速生殖功能衰退。同时, 赵旻晔等[47]综述指出, 长期暴露于环境内分泌干扰物, 会引发氧化应激与生殖损伤, 而精神压力等因素, 也会通过影响代谢状态, 间接对 HPG 轴功能产生不利影响。值得注意的是, 赵亚琪等[48]研究阐释, 肠道菌群通过“肠道 - 性腺轴”深刻影响男性生殖健康, 其代谢产物可调节免疫炎症、激素水平和维生素代谢, 从而改善精子质量; 同时, 谢玥等[49]研究提出, 适度的有氧运动也能通过减轻氧化应激、改善激素环境来提升精液参数, 但高强度运动则可能因增加氧化损伤和阴囊温度而产生负面影响。因此, 维持肠道菌群健康并结合中等强度运动, 是改善男性生育力的两个重要、低成本且安全的干预策略。

4.2. 相关疾病风险

现代生活方式引发的节律紊乱及一系列连锁反应, 会显著增加男性生殖系统及相关领域的疾病风险, 对男性健康构成严重威胁。

在生殖功能障碍相关疾病风险方面, Sati 等[36]的流行病学研究证实, 长期轮班、夜班人群出现生育能力下降和性欲减退的风险显著增加。Zhong 等[43]研究指出, 节律紊乱导致的精子 DNA 碎片率显著增加, 不仅降低受孕几率, 还会增加不良妊娠结局的风险。从睾丸组织病理改变来看, 邹鹏等[34]研究发现会出现生精上皮变薄、曲细精管萎缩等结构性损伤, 伴随精原细胞周期阻滞于 G₀/G₁ 期及 CDK4/Cyclin D1 信号通路抑制, 细胞动力学异常进一步引发精子凋亡增加, 与精液参数进行性恶化形成因果链, 进而可能发展为少弱精症等生殖健康疾病。王彦飞等[31]研究显示, 血清/精浆 AMH 水平作为支持细胞功能敏感指标, 在非梗阻性无精子症及放疗、肾衰竭等继发性损伤中显著降低, 印证了生殖稳态维持细胞群的不可逆损耗, 提示无精子症等严重生殖疾病的发生风险。

通过相关研究的小鼠模型发现, 人为缩短光暗周期会显著降低精子浓度、活力及睾酮、DHT 等激素水平, 导致生育力下降。外源性补充植物提取物 Genipin 可通过上调 StAR、CYP11A1 等类固醇合成关键蛋白表达, 部分逆转节律紊乱引起的生殖损伤, 为临床干预提供了潜在方向[50]。

在激素依赖性疾病风险方面, Turcu 等[51]研究提示, 现代生活方式导致的节律紊乱, 可能通过改变肾上腺源性激素的节律性分泌, 增加前列腺癌等激素依赖性疾病的发病风险。Harding 等[44]研究进一步

阐明, 长期夜班、跨时区旅行及夜间蓝光暴露引发的 HPG 轴调控时序异常, 与肾上腺源性激素节律紊乱协同作用, 也潜在地增加了前列腺癌等激素依赖性疾病的长期风险。

在发育性疾病及恶性肿瘤风险方面, 赵旻晔等[47]综述表明, 节律紊乱及相关生活方式因素引发的表观遗传调控失常, 与尿道下裂、隐睾等先天畸形共同构成发育性疾病谱系, 对男性生殖系统发育造成严重影响。更值得关注的是, 该研究还指出睾丸生殖细胞肿瘤发病风险上升, 凸显了生殖病理的恶性转化潜能, 表明现代生活方式相关因素可能推动生殖系统疾病向恶性方向发展, 对男性生命健康构成重大威胁。

此外, Liu 等[16]研究指出, 阻塞性睡眠呼吸暂停等共病, 会通过影响夜间缺氧和睡眠结构, 间接加剧生殖内分泌紊乱, 而 Marriott 等[46]研究表明, 肥胖、慢性疾病与生殖功能异常形成的恶性循环, 也会进一步增加心血管疾病、代谢性疾病等多种全身性疾病的发生风险, 形成多系统疾病风险叠加的严峻局面。

Table 4. Key literature on the impact of modern lifestyles on male reproductive rhythms

表 4. 关于现代生活方式影响男性生殖节律的主要文献

维度	研究类型	研究对象/模型	主要干扰因素	主要生殖结局	主要结论
Leyla Sati [36]	综述	啮齿动物模型、人类	轮班工作、光暗周期等	精子质量下降、睾酮水平降低、不育	昼夜节律紊乱对男性和女性生殖系统均有负面影响。
任玥等 [37]	综述	人类、动物模型	睡眠、轮班工作等	精子质量下降、睾酮水平降低、性功能障碍	轮班工作和昼夜节律紊乱降低生育能力。
Khrystyna Kurta 等 [39]	实验研究	北极红点鲑	光周期、采样时间等	精子质量变异性、年龄相关精子运动力下降等	精子质量在季节内和跨季节存在显著变化。
纪思萌等 [41]	综述文章	男性不育患者、小鼠模型	生物钟基因、昼夜节律紊乱等	男性不育、精子数量减少、精子质量下降等	生物钟基因通过调节激素分泌直接影响精子生成和质量。
Tina Kold Jensen 等 [35]	横断面研究	年轻男性	禁欲时间、酒精摄入、吸烟等	精液质量下降, 睾丸体积减小, 生殖激素改变	青春期启动时间可能是男性生殖健康的基本标志。

5. 结果

从近十年文献中系统梳理了男性生殖功能在昼夜、季节及生命周期三个时间维度上的节律性变化(详见图 2), 表明了男性生殖系统具有明确的时间节律性。昼夜节律调控睾酮分泌与精子质量的日间波动, 季节节律影响性激素水平与性行为频率, 而生命周期节律则呈现出生殖功能从青春期启动、性成熟期高峰至中老年逐渐衰退的长期演变趋势。生物钟基因与下丘脑-垂体-睾丸轴是调控这些节律的核心机制。研究进一步揭示, 现代生活方式引起的节律紊乱与男性生殖健康问题密切相关, 提示维持节律稳定对保障男性生育力与整体生殖健康具有重要生理意义。

6. 讨论

尽管现有研究已初步揭示男性生殖功能在昼夜与季节尺度上的节律特征, 但在更长周期的研究仍显不足。这主要受限于追踪个体数十年生殖功能变化的难度, 以及缺乏跨年龄段的纵向研究设计。相比之下, 短周期节律研究因实验周期短、数据易获取而较为丰富, 尤其在动物模型与临床小样本研究中取得了显著进展。

未来研究应更加注重长周期生殖节律的探索, 尤其是在人口老龄化背景下, 理解男性生殖功能随年龄演变的机制具有重要临床意义。此外, 当前研究多集中于激素与精液参数, 对节律调控的分子机制仍

有待深入。在转化应用方面,如何将节律知识整合至男性生殖健康的临床评估与干预策略中,例如优化精液检测时间、设计节律同步化的生活方式干预等,是值得推进的方向。

我们也应意识到,现代生活方式对节律的干扰是一个全球性健康问题。在数字化与轮班制日益普遍的今天,男性生殖健康管理需更加重视“时间生物学”原则,推动个体化、时序化的健康干预策略。这不仅有助于提升男性生育力,也对延缓生殖衰老、预防激素相关疾病具有长远意义。

基金项目

2025年大学生创新创业训练计划项目(省级:S202513287044)。

参考文献

- [1] Crnko, S., Du Pré, B.C., Sluijter, J.P.G. and Van Laake, L.W. (2019) Circadian Rhythms and the Molecular Clock in Cardiovascular Biology and Disease. *Nature Reviews Cardiology*, **16**, 437-447. <https://doi.org/10.1038/s41569-019-0167-4>
- [2] 王慧, 许宁宁, 李昕彤, 等. 蝙蝠核心生物钟基因 *Per1* 昼夜表达节律与适应性进化研究[J]. 兽类学报, 2024, 44(3): 259-267.
- [3] Schrader, L.A., Ronnekleiv-Kelly, S.M., Hogenesch, J.B., Bradfield, C.A. and Malecki, K.M.C. (2024) Circadian Disruption, Clock Genes, and Metabolic Health. *Journal of Clinical Investigation*, **134**, e170998. <https://doi.org/10.1172/jci170998>
- [4] Beltran-Frutos, E., Casarini, L., Santi, D. and Brigante, G. (2022) Seasonal Reproduction and Gonadal Function: A Focus on Humans Starting from Animal Studies. *Biology of Reproduction*, **106**, 47-57. <https://doi.org/10.1093/biolre/foab199>
- [5] 唐颖. 睡眠行为和昼夜节律紊乱与育龄夫妇不孕不育关联研究及其 DNA 甲基化的中介效应[D]: [博士学位论文]. 合肥: 安徽医科大学, 2022.
- [6] Liu, K., Hou, G., Wang, X., Chen, H., Shi, F., Liu, C., et al. (2020) Adverse Effects of Circadian Desynchrony on the Male Reproductive System: An Epidemiological and Experimental Study. *Human Reproduction*, **35**, 1515-1528. <https://doi.org/10.1093/humrep/deaa101>
- [7] González-Sales, M., Barrière, O., Tremblay, P., Nekka, F., Desrochers, J. and Tanguay, M. (2016) Modeling Testosterone Circadian Rhythm in Hypogonadal Males: Effect of Age and Circannual Variations. *The AAPS Journal*, **18**, 217-227. <https://doi.org/10.1208/s12248-015-9841-6>
- [8] 高磊, 洪金, 张丽萍, 等. 生物钟基因调控牦牛睾酮分泌的机制研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2023, 51(3): 9-18, 28.
- [9] 陈卿. 睡眠行为、昼夜节律与男(雄)性精液参数的关联研究[D]: [博士学位论文]. 重庆: 第三军医大学, 2015.
- [10] 方丹, 贾本忠, 李涛. 昼夜节律对男性精液质量影响的研究进展[J]. 中国性科学, 2024, 33(12): 4-7.
- [11] Liu, P.Y. (2019) A Clinical Perspective of Sleep and Andrological Health: Assessment, Treatment Considerations, and Future Research. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, **104**, 4398-4417. <https://doi.org/10.1210/jc.2019-00683>
- [12] Xiao, Y., Yin, S., Cui, J., Bai, Y., Yang, Z., Wang, J., et al. (2023) Association between the Prevalence Rates of Circadian Syndrome and Testosterone Deficiency in US Males: Data from NHANES (2011-2016). *Frontiers in Nutrition*, **10**, Article 1137668. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1137668>
- [13] 朱安琪, 孟飞飞, 胡春秀, 等. 昼夜节律紊乱对男性不育影响的研究进展[J]. 医学新知, 2025, 35(3): 345-352.
- [14] Rodriguez, K.M., Kohn, T.P., Kohn, J.R., Sigalos, J.T., Kirby, E.W., Pickett, S.M., et al. (2020) Shift Work Sleep Disorder and Night Shift Work Significantly Impair Erectile Function. *The Journal of Sexual Medicine*, **17**, 1687-1693. <https://doi.org/10.1016/j.jsxm.2020.06.009>
- [15] Hernández-Pérez, J.G., Taha, S., Torres-Sánchez, L.E., Villasanté-Tezanos, A., Milani, S.A., Baillargeon, J., et al. (2024) Association of Sleep Duration and Quality with Serum Testosterone Concentrations among Men and Women: NHANES 2011-2016. *Andrology*, **12**, 518-526. <https://doi.org/10.1111/andr.13496>
- [16] Liu, P.Y. and Reddy, R.T. (2022) Sleep, Testosterone and Cortisol Balance, and Ageing Men. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*, **23**, 1323-1339. <https://doi.org/10.1007/s11154-022-09755-4>
- [17] 马用信. 生物钟与男性生殖研究进展[J]. 生命科学, 2015, 27(11): 1462-1468.
- [18] Peterlin, A., Kunej, T. and Peterlin, B. (2019) The Role of Circadian Rhythm in Male Reproduction. *Current Opinion in*

- Endocrinology, Diabetes & Obesity*, **26**, 313-316. <https://doi.org/10.1097/med.0000000000000512>
- [19] Liu, K., Meng, T., Chen, Q., Hou, G., Wang, X., Hu, S., *et al.* (2022) Diurnal Rhythm of Human Semen Quality: Analysis of Large-Scale Human Sperm Bank Data and Timing-Controlled Laboratory Study. *Human Reproduction*, **37**, 1727-1738. <https://doi.org/10.1093/humrep/deac135>
- [20] Zhu, W., He, Q., Feng, D., Wei, Q. and Yang, L. (2023) Circadian Rhythm in Prostate Cancer: Time to Take Notice of the Clock. *Asian Journal of Andrology*, **25**, 184-191. <https://doi.org/10.4103/aja202255>
- [21] Aten, S., Ramirez-Plascencia, O., Blake, C., Holder, G., Fishbein, E., Vieth, A., *et al.* (2025) A Time for Sex: Circadian Regulation of Mammalian Sexual and Reproductive Function. *Frontiers in Neuroscience*, **18**, Article 1516767. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1516767>
- [22] Abbara, A., Adams, S., Phylactou, M., Izzi-Engbeaya, C., Mills, E.G., Thurston, L., *et al.* (2024) Quantifying the Variability in the Assessment of Reproductive Hormone Levels. *Fertility and Sterility*, **121**, 334-345. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2023.11.010>
- [23] Ma, T., Matsuo, R., Kurogi, K., Miyamoto, S., Morita, T., Shinozuka, M., *et al.* (2024) Sex-Dependent Effects of Chronic Jet Lag on Circadian Rhythm and Metabolism in Mice. *Biology of Sex Differences*, **15**, Article No. 102. <https://doi.org/10.1186/s13293-024-00679-z>
- [24] Watts, H.E. (2020) Seasonal Regulation of Behaviour: What Role Do Hormone Receptors Play? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **287**, Article ID 20200722. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0722>
- [25] Anwar, K., Thaller, G. and Saeed-Zidane, M. (2024) Sperm-Borne Mitochondrial Activity Influenced by Season and Age of Holstein Bulls. *International Journal of Molecular Sciences*, **25**, Article 13064. <https://doi.org/10.3390/ijms252313064>
- [26] 苏张瑶, 卡迪丽娅·居尔艾特提拜克, 丁家怡, 等. 血清与精浆维生素 D 水平与男性生殖功能的相关性[J]. 医学研究生学报, 2019, 32(8): 850-853.
- [27] Xie, M., Utzinger, K.S., Blickenstorfer, K. and Leeners, B. (2018) Diurnal and Seasonal Changes in Semen Quality of Men in Subfertile Partnerships. *Chronobiology International*, **35**, 1375-1384. <https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1483942>
- [28] 李波. 基于《黄帝内经》探讨精子发生原理及少弱精子症辨证规律[J]. 中国男科学杂志, 2023, 37(1): 108-112.
- [29] 李甜甜, 李梦玮, 徐寒梅. 多肽蛋白类生殖激素对男性性腺功能减退症的诊断治疗作用[J]. 药物生物技术, 2025, 32(1): 115-121.
- [30] 秦灵鸽. 基于《内经》“天癸”理论对附子调节生殖效应的部分机制研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都中医药大学, 2019.
- [31] 王彦飞, 胡蓉. 抗苗勒管激素与男性生殖相关疾病的研究进展[J]. 国际生殖健康/计划生育杂志, 2017, 36(1): 49-52.
- [32] 张岩, 闫心怡, 谢金龙, 等. 抗缪勒管激素在男性生殖领域的研究进展[J]. 临床检验杂志, 2023, 41(10): 774-777.
- [33] 程国隆, 宋荣. 男性无精子症患者血清生殖激素水平与睾丸生精功能的相关性分析[J]. 中国当代医药, 2017, 24(10): 36-38.
- [34] 邹鹏. 慢性心理应激致男(雄)性生殖损伤的流行病学调查和相关机制研究[D]: [博士学位论文]. 重庆: 中国人民解放军陆军军医大学, 2019.
- [35] Jensen, T.K., Finne, K.F., Skakkebaek, N.E., Andersson, A., Olesen, I.A., Joensen, U.N., *et al.* (2016) Self-Reported Onset of Puberty and Subsequent Semen Quality and Reproductive Hormones in Healthy Young Men. *Human Reproduction*, **31**, 1886-1894. <https://doi.org/10.1093/humrep/dew122>
- [36] Sati, L. (2020) Chronodisruption: Effects on Reproduction, Transgenerational Health of Offspring and Epigenome. *Reproduction*, **160**, R79-R94. <https://doi.org/10.1530/rep-20-0298>
- [37] 任玥, 谢玥, 武心怡, 等. 睡眠对男性生育功能的影响[J]. 中国男科学杂志, 2022, 36(5): 99-104.
- [38] 王笑笑, 李斌, 肖经纬. 男性生殖内分泌系统调节的研究进展[J]. 毒理学杂志, 2007(6): 501-504.
- [39] Kurta, K., Jeuthe, H., Naboulsi, R., de Koning, D. and Palaiokostas, C. (2023) Seasonal and Age-Related Changes in Sperm Quality of Farmed Arctic Charr (*Salvelinus alpinus*). *BMC Genomics*, **24**, Article No. 519. <https://doi.org/10.1186/s12864-023-09614-9>
- [40] Sciarra, F., Franceschini, E., Campolo, F., Gianfrilli, D., Pallotti, F., Paoli, D., *et al.* (2020) Disruption of Circadian Rhythms: A Crucial Factor in the Etiology of Infertility. *International Journal of Molecular Sciences*, **21**, Article 3943. <https://doi.org/10.3390/ijms21113943>
- [41] 纪思萌, 吕冰冰, 杨俊宝. 生物钟基因影响男(雄)性不育及精子生成的研究进展[J]. 生殖医学杂志, 2025, 34(1): 131-138.

- [42] Liu, Q., Wang, H., Wang, H., Li, N., He, R. and Liu, Z. (2022) Per1/Per2 Disruption Reduces Testosterone Synthesis and Impairs Fertility in Elderly Male Mice. *International Journal of Molecular Sciences*, **23**, Article 7399. <https://doi.org/10.3390/ijms23137399>
- [43] Zhong, O., Liao, B., Wang, J., Liu, K., Lei, X. and Hu, L. (2022) Effects of Sleep Disorders and Circadian Rhythm Changes on Male Reproductive Health: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*, **13**, Article 913369. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.913369>
- [44] Harding, B.N., Castaño-Vinyals, G., Palomar-Cros, A., Papantoniou, K., Espinosa, A., Skene, D.J., *et al.* (2022) Changes in Melatonin and Sex Steroid Hormone Production among Men as a Result of Rotating Night Shift Work—The HORMONIT Study. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, **48**, 41-51. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3991>
- [45] Ichikawa, T., Kobayashi, T., Hachiya, T., Ikehata, Y., Isotani, S., Ide, H., *et al.* (2024) Association of Genetically Determined Chronotype with Circulating Testosterone: A Mendelian Randomization Study. *Frontiers in Endocrinology*, **15**, Article 1264410. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1264410>
- [46] Marriott, R.J., Murray, K., Adams, R.J., Antonio, L., Ballantyne, C.M., Bauer, D.C., *et al.* (2023) Factors Associated with Circulating Sex Hormones in Men. *Annals of Internal Medicine*, **176**, 1221-1234. <https://doi.org/10.7326/m23-0342>
- [47] 赵旻晔, 滑玮, 杨红. 内分泌干扰物对男性生殖功能损伤的研究进展[J]. 生殖医学杂志, 2024, 33(3): 407-412.
- [48] 赵亚琪, 齐莉莉, 王进波, 等. 肠道菌群通过肠道-性腺轴影响生殖功能的机制[J]. 生物化学与生物物理进展, 2025, 52(5): 1152-1164.
- [49] 谢玥, 任玥, 武心怡, 等. 有氧运动对男性精液质量影响的研究进展[J]. 中国男科学杂志, 2022, 36(4): 108-112.
- [50] Xu, Y., Wang, L., Cao, S., Hu, R., Liu, R., Hua, K., *et al.* (2020) Genipin Improves Reproductive Health Problems Caused by Circadian Disruption in Male Mice. *Reproductive Biology and Endocrinology*, **18**, Article No. 122. <https://doi.org/10.1186/s12958-020-00679-9>
- [51] Turcu, A.F., Zhao, L., Chen, X., Yang, R., Rege, J., Rainey, W.E., *et al.* (2021) Circadian Rhythms of 11-Oxygenated C19 Steroids and δ^5 -Steroid Sulfates in Healthy Men. *European Journal of Endocrinology*, **185**, K1-K6. <https://doi.org/10.1530/eje-21-0348>