

夜间人工光照暴露对儿童青少年健康的影响

吴幸瑜¹, 孙莹^{1,2}

1.安徽医科大学公共卫生学院,合肥 230032;2.出生人口健康教育部重点实验室

【摘要】 随着城市化进程中夜间人工光照(LAN)暴露的日益普遍,儿童青少年因其生理与行为特征成为暴露敏感人群。本研究在明确 LAN 暴露核心概念、暴露来源及评估方法的基础上,综述了 LAN 暴露与儿童青少年睡眠、代谢、心理健康与行为问题、视觉、细胞衰老及肿瘤等多系统健康结局的流行病学证据。提出未来应重点推进标准化暴露评估、多中心前瞻性队列及行为干预策略的开发。

【关键词】 儿童;青少年;光;环境暴露;健康状况

【中图分类号】 R 179 G 479 TU 113.8 【文献标识码】 A 【文章编号】 1000-9817(2026)09-1349-05

Effects of light at night exposure on health in children and adolescents

WU Xingyu, SUN Ying

School of Public Health, Anhui Medical University, Hefei 230032, Anhui Province, China

【Abstract】 With the increasing prevalence of light at night (LAN) exposure amid urbanization, children and adolescents have become a particularly susceptible population due to their physiological and behavioral characteristics. Based on a clear definition of LAN, its sources, and assessment methods, the review summarizes epidemiological evidence linking LAN with multi-system health outcomes in children and adolescents, including sleep, metabolism, mental health and behavioral problems, vision, cellular senescence, and cancer. Future research should prioritize standardized exposure assessment, multicenter prospective cohorts, and behavioral intervention strategies.

【Keywords】 Child; Adolescent; Light; Environmental exposure; Health status

随着城市化进程,夜间人工光照(light at night, LAN)暴露日益普遍。全球超过 80%的人口生活在光污染环境中^[1],城市夜间光照强度以每年 5%~20%的速度递增^[2]。儿童青少年瞳孔更大、晶状体对短波光透过率更高,褪黑素系统对光更为敏感^[3],是 LAN 暴露的高危人群。近年来,LAN 暴露与儿童青少年睡眠、代谢、心理健康等健康结局的流行病学研究迅速积累,本研究从 LAN 暴露的核心概念及评估方法出发,系统梳理上述关联证据,为儿童健康干预提供参考依据。

1 LAN 暴露的定义、来源与评估方法

1.1 核心概念 LAN 暴露是指日落到日出期间,由人工光源产生的光照暴露,其不仅作为直接的生理效应因子影响昼夜节律系统,更作为一种促成因素,使人类在夜晚从事各类活动成为可能,从而带来间接的健康影响^[4]。

在时间维度上,LAN 暴露可依据生理效应和活动

状态细分为晚间清醒期与深夜睡眠期 2 个相互关联的阶段。晚间清醒期覆盖自日落后至入睡前的整个时段,通常为睡前至少 3 h,此时个体处于清醒状态,暴露以家庭照明和电子屏幕等主动来源为主;深夜睡眠期则指入睡后至日出前的时段,暴露以卧室夜灯和室外光透入等被动来源为主^[5]。

1.2 主要暴露来源 LAN 暴露的来源主要可分为城市建成环境中的室外光源与日常生活中的室内光源两大类。室外来源以路灯、商业广告牌、建筑景观照明及交通灯光等为主;室内来源则更为多元,既涵盖顶灯、台灯及夜灯等家庭常规照明,也包括智能手机、平板电脑、电脑显示器等个人电子屏幕。实证研究表明,家庭照明环境是晚间时段重要的光照暴露来源^[6]。

1.3 暴露评估方法 LAN 暴露的评估可分为生态学评估与个体水平评估两个层面^[4]。生态学评估以卫星遥感数据,如可见光红外成像辐射仪昼夜波段估算室外夜间光照强度,反映群体水平的室外光暴露。该

【基金项目】 国家自然科学基金项目(82373591)

【作者简介】 吴幸瑜(2004-),女,江苏镇江人,在读本科。

【通信作者】 孙莹, E-mail: yingsun@ahmu.edu.cn

方法样本量大、可回溯,但无法反映个体实际暴露水平^[4]。个体水平评估则包括客观测量与主观问卷2种方式。客观测量采用便携式照度计或可穿戴光传感器,获取个体卧室或其他室内环境的实时光照数据,常用指标包括平均光照强度、特定阈值光照持续时间,以及日间稳定性、日内变异性等节律指标。目前,采用可穿戴设备开展个体水平室内 LAN 暴露评估的研究逐渐增加,已覆盖全年龄段人群^[7-9]。主观评估以问卷自我报告屏幕使用及睡前行为为主^[10],此类工具测量的是行为模式(如使用频率、时长),而非直接的光照暴露水平,因此作为 LAN 暴露指标的效度有限。

LAN 暴露评估方法从单一问卷向照度计实测、连续动态监测(24 h 光暴露谱、节律指标)逐渐演变,宏观与微观方法互补,前者揭示人群趋势,后者解析个体机制。

2 LAN 暴露演变及对儿童青少年影响的生物学基础

2.1 城市化进程与人工光源的普及 电灯的发明彻底改变了人类的光暴露模式。在城市化推动下,路灯、广告牌、建筑照明等室外光源,以及电子屏幕、夜间灯等室内光源,使得 LAN 暴露日益普遍;目前全球超过 80%的人口生活在光污染环境中^[1],城市夜间光照强度以每年 5%~20%的速度递增^[2]。从环境角度来看,无论是室外光源还是光线溢出室外的室内光源,使得光污染已成为一种不容忽视的环境污染物^[11]。与此同时,现代人约 90%的时间在室内低光照下活动^[12],白天光照不足,夜晚又暴露于过量的人工光——这种“昼暗夜亮”的模式严重背离自然光暗周期,光污染由此成为重要的环境与公共卫生议题。

2.2 儿童青少年作为特殊易感人群的生理与行为特征 生理上,儿童对 LAN 的敏感性远高于成人。儿童在夜间光照下的褪黑素抑制率(88.2%)几乎是成人(46.3%)的 2 倍,且居家室内光可显著抑制儿童褪黑素水平,但对成人影响较小^[3]。睡前 1 h 的低强度光(5~40 lx)即可抑制学龄前儿童的 70%以上褪黑素分泌,光照结束 50 min 后仍未恢复^[13]。另有研究显示,儿童对蓝光的瞳孔收缩反应强于青少年,进一步证实儿童视觉系统对光的敏感性更高^[14]。此外,儿童青少年正处于神经内分泌系统快速发育的关键窗口期,脑与昼夜节律系统易受外部光干扰^[12]。同时,越来越多的证据表明,青春期昼夜节律相位会出现自然延迟,且对光的敏感性早期有所增加、后期逐渐下降^[12],这使其光暴露模式更具特殊性。

行为上,儿童青少年的 LAN 暴露具有鲜明的年龄特异性。儿童虽自主性较低,但缺乏对家庭光环境的

主动调控能力(如不主动拉窗帘、关灯),暴露更为被动。进入青春期后,自主性增强,但自控力尚不完善,易受夜间社交、游戏等活动的影响,进而主动延长 LAN 暴露时间;同时,学业压力与睡前电子设备的普遍使用进一步推迟就寝时间。加之学校早课与晚睡的矛盾,造成睡眠不足及“社会时差”(指周末与工作日睡眠节律的错位),周末补觉反而加剧节律紊乱^[11]。这一年龄群体日间光照摄入严重不足,而夜间屏幕暴露却持续增加^[9]。这些生理与行为特征共同使儿童青少年成为 LAN 暴露的敏感人群。

3 LAN 暴露对儿童青少年健康的影响

3.1 LAN 暴露对儿童睡眠的影响 目前,人群观察性研究的证据一致支持 LAN 暴露与儿童青少年睡眠问题风险增加相关。基于卫星遥感数据的大样本人群研究显示,室外 LAN 暴露水平越高,儿童青少年出现入睡困难、睡眠时长缩短等问题的风险越大,且 12 岁以下儿童的关联更为显著^[15]。采用照度计或可穿戴设备的个体水平研究同样发现,夜间及睡前光照强度增加分别与睡眠时长缩短和入睡延迟相关^[16];在有电与无电家庭的比较中,晚间暴露于人造电灯环境个体入睡时间延迟约 55 min、睡眠时长缩短约 41 min,且睡眠规律性指数降低约 4 分^[17]。从现有证据来看,受 LAN 暴露影响较为一致的睡眠问题包括入睡延迟、睡眠时长缩短和睡眠规律性降低。一项 Meta 分析进一步证实,较高 LAN 暴露与睡眠问题风险增加相关^[18]。近期 Kretzschmar 等^[19]更新了该证据,其纳入 15 项研究,结果显示最高人工夜间光照(artificial light at night, ALAN)暴露组睡眠障碍风险增加 27%,证据质量评价分级证据确定性评级为高,进一步强化了上述关联的证据强度。

在生物学机制层面,上述关联的合理性得到了实验研究的支持。儿童瞳孔更大、晶状体对短波长光透过率更高的生理特征,使其褪黑素系统对 LAN 尤为敏感^[3,12-13];蓝光波段通过黑视蛋白系统抑制松果体褪黑素分泌、延迟昼夜节律相位^[20],可能是 LAN 干扰儿童睡眠结构的核心生理通路。上述观察性证据与实验性机制证据共同表明,LAN 暴露对儿童青少年睡眠的多个维度均可能产生不利影响,但这一结论仍需更多高质量前瞻性研究加以验证。

3.2 LAN 暴露与儿童青少年代谢健康及肥胖风险 目前,国内外多项研究证据提示室外 LAN 暴露与儿童肥胖风险增加相关。德国“Frida 队列”发现,室外 LAN 暴露与 62 212 名 11 岁以下儿童体质量指数(body mass index, BMI) Z 评分增加相关,且在男童中该关联更强^[21]。一项基于中国广东 21 万余名儿童开

展的为期 15 年的队列研究显示,持续高水平的室外 LAN 暴露与超重风险增加相关,归因风险超过 40%,且早期高暴露的影响可持续至青春期^[22]。另一项覆盖中国 8 省市的随访研究则提示,室外 LAN 对肥胖的影响可能具有累积效应^[23]。Lin 等^[24]在中国东北学龄儿童青少年的横断面研究中也观察到类似模式,且性别差异显著。上述研究表明,室外 LAN 暴露与儿童肥胖的正向关联在中国具有跨地域的一致性。近年来儿童室内 LAN 暴露的研究进一步印证了该关联:来自上海的调查显示室内 LAN 强度与持续时间与儿童 BMI、脂肪量和腰围均呈正相关^[7],卧室 LAN 暴露时间增加伴随着儿童体脂率上升^[25]。来自不同设计类型、不同地区的证据共同指向,男童对 LAN 的致肥胖效应可能更为敏感。一项 Meta 分析汇总了宏观室外 LAN、室内卧室 LAN 及电子屏幕相关 LAN 暴露 3 个层面的证据,发现较高 LAN 暴露者超重风险增加 13%,肥胖风险增加 22%,且关联方向在 3 个暴露层面均保持一致^[26]。Mao 等^[27]进一步将 Meta 证据拓展至高血压和糖尿病,且儿童超重/肥胖风险高于成人。

在代谢综合征与糖代谢方面,横断面研究同样提示 LAN 暴露可能造成不良影响。Ge 等^[28]对 1 万余名中国儿童青少年的研究发现,室外 LAN 暴露与代谢综合征呈“U”型关系,暴露过低或过高均增加风险。Li 等^[29]发现卧室 LAN 暴露强度与青年人群胰岛素抵抗指标呈正相关,且该关联仅在进餐时间偏晚的人群中显著,提示 LAN 暴露与进餐时间可能协同影响代谢健康。

在血压、炎症及过敏性疾病方面,横断面和队列研究同样观察到 LAN 暴露与这些心血管代谢指标之间的关联。室外 LAN 暴露与儿童血压升高相关,尤其在 11 岁以下儿童中关联更强^[30];青少年期 LAN 暴露水平与成年早期血压升高也存在关联^[31]。有队列研究发现卧室 LAN 暴露强度与青年人群超敏 C 反应蛋白水平升高呈正相关,且高 LAN 暴露可扰乱多种炎症因子的昼夜节律^[32]。一项 Meta 分析显示 LAN 暴露与过敏性疾病风险增加相关,且在青少年中关联更强^[33]。

总体而言,现有证据已初步建立起 LAN 暴露与儿童青少年心血管代谢健康之间的关联,其中肥胖领域的证据最为充分。值得指出的是,当前纵向证据主要来自中国人群,在其他地区和族裔中的普适性仍需要通过更多研究加以验证。

3.3 LAN 暴露对儿童青少年心理健康与行为问题的潜在影响 已有前瞻性研究发现,LAN 暴露与儿童青少年抑郁风险增加相关。Xu 等^[34]对 347 名大学生开展的 2 年队列研究显示,卧室 LAN 暴露强度 ≥ 3 lx 者

新发抑郁风险增加 125%,LAN 暴露强度 ≥ 5 lx 持续时间 ≥ 45 min 者风险增加 119%;该关联被超敏 C 反应蛋白部分中介(中介比例 7.1%~10.6%),提示炎症通路可能参与其中。横断面研究同样发现,抑郁高风险和现患抑郁的青少年 LAN 暴露水平更高、活动节律幅度更低^[35]。

除情绪障碍外,LAN 暴露与认知功能之间的关联也受到关注。Yang 等^[36]对 48 502 名 5~12 岁儿童的横断面研究发现,较高室外 LAN 暴露与执行功能障碍呈正相关,且在 10~12 岁儿童中关联更强。

3.4 LAN 暴露与儿童青少年其他健康问题关联的探索性发现 除上述核心健康结局外,LAN 暴露与视觉健康、细胞衰老及肿瘤等结局之间的关联也有初步研究,但现有证据多来自横断面或回顾性设计,尚未形成可供归纳的明确结论。

在视觉健康方面,已有研究提示卧室 LAN 暴露与儿童近视之间可能存在双向关联,且光照时机可能比光照强度更为关键。Shi 等^[37]对 872 名 6~14 岁儿童青少年的横断面研究发现,睡后暴露于 1 lx 以上光照增加近视风险,醒前接受 10~30 lx 的适度光照则降低近视风险。

在细胞衰老与多系统生理负荷方面,已有横断面研究报道室外 LAN 暴露与端粒长度缩短相关。Fan 等^[38]对 1 151 名 6~18 岁儿童青少年的研究显示,LAN 暴露每增加一个四分位距,端粒长度缩短 4.20%,提示 LAN 可能加速生物老化。Xu 等^[39]采用稳态负荷理论整合了多系统生理指标,发现卧室 LAN 每增加 1 lx,稳态负荷评分增加 0.15。部分病例对照研究也发现围产期或出生后早期 LAN 暴露与儿童甲状腺乳头状癌^[40]及白血病风险^[41]增加之间的关联。此外,重度特应性皮炎患儿白天光照暴露仅为健康对照的 1/5,提示皮肤炎症与光暴露节律之间可能存在交互作用^[42]。

4 当前研究的局限性与未来展望

当前研究以横断面设计为主,难以确立 LAN 暴露与健康结局的因果关系。尽管已有部分队列研究^[22,34]和 Wescott 等^[43]的一项随机对照试验探索了 LAN 暴露与儿童健康的关系。随机对照试验中选取了 86 名 16~19 岁晚睡青少年,干预组接受为期 2 周的综合干预(晨起佩戴亮光眼镜 30~60 min、睡前 2 h 佩戴琥珀色蓝光阻断眼镜、个性化睡眠时间表),采用唾液褪黑素分泌启动时间和体动记录仪评估效果。结果显示,干预组昼夜节律相位提前 36 分,周内睡眠时长增加 47 min,为夜间光照干预改善青少年睡眠提供了高质量的因果证据^[43]。但现有随机对照试验数

量仍然有限,且多采用短期干预设计,尚缺乏长期随访的高质量证据。

LAN 暴露评估方法尚未标准化。生态学评估层面,卫星数据虽然能反映室外光污染水平,但无法区分个体室内暴露差异;个体水平评估层面,照度计放置位置、测量时长、指标定义各异,导致研究间可比性不足。此外,昼夜节律指标的应用仍处于探索阶段,缺乏统一的参考阈值。

未来研究可从以下方向深入:一是开展多中心前瞻性队列研究,采用标准化暴露测量方案,明确 LAN 暴露的敏感窗口期和剂量-效应关系;二是开发整合卫星数据与个体实测数据的混合评估模型,兼顾宏观覆盖与个体精度;三是加强机制研究,整合多组学技术(如表观遗传学、代谢组学)深入探索炎症、氧化应激等通路;四是设计并评估针对 LAN 暴露的干预措施,为公共卫生政策提供依据。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突。

参考文献

[1] Falchi F , Cinzano P , Duriscoe D , et al . The new world atlas of artificial night sky brightness[J]. *Sci Adv*, 2016, 2(6): e1600377.

[2] Hölker F , Moss T , Griefahn B , et al . The dark side of light : a transdisciplinary research agenda for light pollution policy[J]. *Ecol Soc*, 2010, 15(4): art13.

[3] Higuchi S, Nagafuchi Y, Lee S I, et al. Influence of light at night on melatonin suppression in children [J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2014, 99(9): 3298–3303.

[4] Lunn R M, Blask D E, Coogan A N, et al. Health consequences of electric lighting practices in the modern world: a report on the National Toxicology Program’s workshop on shift work at night, artificial light at night, and circadian disruption [J]. *Sci Total Environ*, 2017, 607: 1073–1084.

[5] Brown T M, Brainard G C, Cajochen C, et al. Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults[J]. *PLoS Biol*, 2022, 20(3): e3001571.

[6] Cain S W, Mcglashan E M, Vidasfar P, et al. Evening home lighting adversely impacts the circadian system and sleep[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 19110.

[7] Qu S, Yang D, Zheng K, et al. Association between indoor light at night and obesity among children and adolescents at different physical activity levels: a population-based cross-sectional study [J]. *BMC Public Health*, 2025, 25(1): 3156.

[8] Shi D, Dang J, Chen H, et al. Assessment of indoor light-at-night exposure in children and adolescents during schooldays and weekends [J]. *Environ Pollut*, 2024, 360: 124689.

[9] Li Q, Ding W Q, Shen Y T, et al. Comprehensive assessment of real-life 24-h light exposure pattern in children and young adults: intensity, timing and rhythm[J]. *J Sleep Res*, 2026, 35: e70119.

[10] Nagata J M, Cheng C M, Shim J, et al. Bedtime screen use behaviors and sleep outcomes in early adolescents: a prospective cohort study

[J]. *J Adolesc Health*, 2024, 75(4): 650–655.

[11] Barú S, Falchi F. Artificial light at night: a global disruptor of the night-time environment [J]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2023, 378(1892): 20220352.

[12] Ricketts E J , Joyce D S , Rissman A J , et al . Electric lighting , adolescent sleep and circadian outcomes, and recommendations for improving light health[J]. *Sleep Med Rev*, 2022, 64: 101667.

[13] Hartstein L E, Behn C D, Akacem L D, et al. High sensitivity of melatonin suppression response to evening light in preschool-aged children[J]. *J Pineal Res*, 2022, 72(2): e12780.

[14] Hartstein L E, Lebourgeois M K, Durniak M T, et al. Differences in the pupillary responses to evening light between children and adolescents[J]. *bioRxiv*, 2023: 2023.08.09.552691.

[15] Wang L B, Gong Y C, Fang Q L, et al. Association between exposure to outdoor artificial light at night and sleep disorders among children in China[J]. *JAMA Netw Open*, 2022, 5(5): e2213247.

[16] Stefanopoulou M, Ruhé N, Portengen L, et al. Associations of light exposure patterns with sleep among Dutch children: the ABCD cohort study[J]. *J Sleep Res*, 2024, 33(6): e14184.

[17] Louzada F M, Cesar-Silva A H A, Moreno C R C, et al. Late evening electric light exposure is associated with low sleep regularity in adolescents living in rural areas[J]. *Sleep Health*, 2024, 10(1): S180–S183.

[18] Xu Y X, Zhang J H, Tao F B, et al. Association between exposure to light at night (LAN) and sleep problems: a systematic review and meta-analysis of observational studies[J]. *Sci Total Environ*, 2023, 857: 159303.

[19] Kretzschmar J, Rath N, Starke K R, et al. The effect of exposure to artificial light at night (ALAN) on sleep disturbance: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Environ Res*, 2026, 292: 123689.

[20] Toutitou Y, Point S. Effects and mechanisms of action of light-emitting diodes on the human retina and internal clock [J]. *Environ Res*, 2020, 190: 109942.

[21] Badpa M, Schneider A, Ziegler A G, et al. Outdoor light at night and children’s body mass: a cross-sectional analysis in the Fr1da study [J]. *Environ Res*, 2023, 232: 116325.

[22] Wang X, Chen M, Tan D S, et al. Trajectories of night light exposure and risk of overweight and obesity: a 15-year longitudinal cohort study of 218 239 Chinese children[J]. *BMC Med*, 2025, 23(1): 423.

[23] 党佳佳, 蔡珊, 钟盼亮, 等. 室外夜间人工光暴露与中国 9~18 岁儿童青少年超重肥胖的关联[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2023, 55(3): 421–428.

Dang J J, Cai S, Zhong P L, et al. Association of outdoor artificial light-at-night exposure with overweight and obesity among children and adolescents aged 9 to 18 years in China [J]. *J Peking Univ (Health Sci)*, 2023, 55(3): 421–428. (in Chinese)

[24] Lin L Z , Zeng X W , Deb B , et al . Outdoor light at night , overweight, and obesity in school-aged children and adolescents[J]. *Environ Pollut*, 2022, 305: 119306.

[25] Ding W , Li Q , Zhou Y , et al . Personal 24 - hour light exposure pattern with obesity and adiposity-related parameters in school-aged children: a cross-sectional study based on compositional data analysis [J]. *Environ Res*, 2025, 275: 121422.

[26] Lai K Y, Sarkar C, Ni M Y, et al. Exposure to light at night (LAN) and risk of obesity: a systematic review and Meta-analysis of

observational studies[J]. *Environ Res*, 2020, 187: 109637.

[27] Mao B, Luo C, Li S, et al. Exposure to light at night (LAN) and risk of overweight/obesity, hypertension, and diabetes; a systematic review and Meta-analysis[J]. *Int J Environ Health Res*, 2025, 35(4): 1003–1017.

[28] Ge W X, Gui Z H, Zou Z Y, et al. U-shaped association between outdoor artificial light at night exposure and metabolic syndrome in Chinese youth: findings from a nationally representative study[J]. *Environ Pollut*, 2026, 390: 127548.

[29] Li Q, Xu Y X, Lu X Z, et al. Impact of bedroom light exposure on glucose metabolic markers and the role of circadian-dependent meal timing: a population-based cross-sectional study [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2025, 290: 117589.

[30] Wang L B, Zou H X, Liu X Y, et al. Reducing artificial light at night exposure in the urban environment could decrease light pollution-related hypertension in children[J]. *Hypertens Res*, 2025, 48(12): 3113–3123.

[31] Shen M, Li Y, Li S, et al. Association of exposure to artificial light at night during adolescence with blood pressure in early adulthood[J]. *Chronobiol Int*, 2023, 40(10): 1419–1426.

[32] Xu Y X, Shen Y T, Li J, et al. Real-ambient bedroom light at night increases systemic inflammation and disrupts circadian rhythm of inflammatory markers [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2024, 281: 116590.

[33] Deprato A, Maidstone R, Cros A P, et al. Influence of light at night on allergic diseases; a systematic review and Meta-analysis[J]. *BMC Med*, 2024, 22(1): 67.

[34] Xu Y X, Zuo M, Zhou Y, et al. The mediating role of systemic inflammation in the association between bedroom light at night and new-onset depressive symptoms among Chinese young adults: a prospective cohort study[J]. *Sci Total Environ*, 2024, 955: 177088.

[35] Tonon A C , Constantino D B , Amando G R , et al . Sleep disturbances, circadian activity, and nocturnal light exposure characterize high risk for and current depression in adolescence[J]. *Sleep*, 2022, 45(7):zsac104.

[36] Yang H Y, Wu S H, Zhang S, et al. Association between outdoor light at night exposure and executive function in Chinese children[J]. *Environ Res*, 2024, 257: 119286.

[37] Shi D, Li J, Dang J, et al. Dual associations of post-sleep and pre-wake light-at-night (LAN) exposure with myopia in children and adolescents[J]. *Environ Res*, 2025, 279: 121915.

[38] Fan G, Fang Q, Guo W, et al. Associations of outdoor artificial light at night exposure with telomere length and mitochondrial DNA copy number in children and adolescents: examining sex-specific associations[J]. *Environ Res*, 2026, 288: 123285.

[39] Xu Y X, Huang Y, Zhou Y, et al. Association between bedroom light exposure at night and allostatic load among Chinese young adults[J]. *Environ Pollut*, 2022, 308: 119671.

[40] Deziel N C, Wang R, Warren J L, et al. Perinatal exposures to ambient fine particulate matter and outdoor artificial light at night and risk of pediatric papillary thyroid cancer [J]. *Environ Health Perspect*, 2025, 133(5): 057026.

[41] Zhong C, Wang R, Morimoto L M, et al. Outdoor artificial light at night, air pollution, and risk of childhood acute lymphoblastic leukemia in the California Linkage Study of Early-Onset Cancers[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 583.

[42] Arif M K, Zee P C, Paller A S, et al. Severe atopic dermatitis, sleep disturbance, and low light exposure[J]. *Sleep*, 2024, 47: zsad276.

[43] Wescott D L, Quick A D, Oryshkewych N S, et al. Chronotherapeutic approaches to target insufficient and late sleep in adolescents: a randomized clinical trial [J]. *JAMA Pediatrics*, 2026, 180(6): 610–618.

收稿日期:2026-05-18 修回日期:2026-06-16 本文编辑:王苗苗

(上接第 1348 页)

[12] Hagströmer M, Bergman P, De Bourdeaudhuij I, et al. Concurrent validity of a modified version of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ-A) in European adolescents: the HELENA Study[J]. *Int J Obes*, 2008, 32(5): S42–S48.

[13] Conway J M, Ingwersen L A, Vinyard B T, et al. Effectiveness of the US Department of Agriculture 5-step multiple-pass method in assessing food intake in obese and nonobese women[J]. *Am J Clin Nutr*, 2003, 77(5): 1171–1178.

[14] Bennett J P, Prado C M, Heymsfield S B, et al. Evaluation of visceral adipose tissue thresholds for elevated metabolic syndrome risk across diverse populations: a systematic review [J]. *Obes Rev*, 2024, 25(9): e13767.

[15] García-Hermoso A, López-Gil J F, Izquierdo M, et al. Exercise and insulin resistance markers in children and adolescents with excess weight: a systematic review and network Meta-analysis[J]. *JAMA Pediatr*, 2023, 177(12): 1276.

[16] Chang Y H, Yang H Y, Shun S C. Effect of exercise intervention dosage on reducing visceral adipose tissue: a systematic review and network Meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Int J Obes*, 2021, 45(5): 982–997.

[17] 宋俊辰, 李红娟, 王政淞. 时间使用流行病学在身体活动研究领域的应

用[J]. *体育科学*, 2020, 40(1): 79–88.

Song J C, Li H J, Wang Z S. Application of time-use epidemiology in the research field of physical activity[J]. *China Sport Sci*, 2020, 40(1): 79–88. (in Chinese)

[18] Castro-Barquero S, Casas R, Rimm E B, et al. Loss of visceral fat is associated with a reduction in inflammatory status in patients with metabolic syndrome [J]. *Mol Nutr Food Res*, 2023, 67(4): e2200264.

[19] 黄道花, 方苗苗, 谢庆磊, 等. 超重肥胖儿童青少年身体活动行为阻碍因素分析[J]. *中国学校卫生*, 2026, 47(5): 642–645, 651.

Huang D H, Fang M M, Xie Q L, et al. Analysis of barriers to physical activity behavior among overweight and obese children and adolescents[J]. *Chin J Sch Health*, 2026, 47(5): 642–645, 651. (in Chinese)

[20] Hills A P, King N A, Armstrong T P. The contribution of physical activity and sedentary behaviours to the growth and development of children and adolescents: implications for overweight and obesity[J]. *Sports Med*, 2007, 37(6): 533–545.

收稿日期:2026-04-08 修回日期:2026-07-12 本文编辑:王苗苗