

環境要因と睡眠に関する先行疫学研究の整理

研究分担者 佐伯圭吾 奈良県立医科大学 疫学予防医学講座

研究協力者 大林賢史 奈良県立医科大学 疫学予防医学講座

研究要旨

良質な睡眠を得るために、寝室環境を整えることは重要である。本研究では、新たな健康づくりのための睡眠指針の作成に向けて、光、騒音、温度環境といった環境要因が睡眠に及ぼす影響に関する疫学研究のナラティブレビューを行った。

光環境については、入床前や入床中の光曝露が多い者で、睡眠の質が低いとする横断研究および短期間の縦断研究をみとめた。騒音については、建物外で測定した夜間の鉄道騒音レベルが高いと主観的睡眠の質が低い関連が、大規模データを用いたメタ解析から示されたが、騒音に関する質問と睡眠の質に関する質問が同時に実施されたことによるバイアスの影響が否定できないと考察されていた。小規模の疫学研究からは、寝室で測定した騒音とポリソムノグラフィーで確認した睡眠障害の有意な縦断関連が示されていた。温度環境については、小規模な疫学研究から、夜間の入床中の寝室温が高いと睡眠の質が低い横断関連が示されていた。また入床前の暖かい部屋で過ごす者や、入床前の入浴を行う者では、入眠潜在時間が短い有意な関連が示されていた。

寝室の光・騒音・温度を測定し睡眠の影響を調査した疫学研究の数は乏しく、ほとんどは横断研究であった。今後は長期の観察期間を有する縦断研究や大規模な疫学研究が必要である。

A. 研究目的

「健康づくりのための睡眠指針 2014」の第6条および第7条の箇所で、光環境が睡眠に及ぼす影響が示されている。良い睡眠や体内リズムを保つためには、就寝前に強い照度や短波長の光を浴びないようにし、起床後は太陽光など強い光を浴びることが望ましいと記載されている。これらの根拠とされているのは、リアルワールドで使用されている照明環境よりも高い照度の生理学的実験研究や小規模な実験研究の結果であり、疫学データに基づくエビデンスは乏しい。近年、光曝露が健康に及ぼす影響に関する研究は増加し注目されている領域であり[1]、ナラティブレビューとして光環境と睡眠に関する先行疫学研究を整理することとした。

夜間の騒音環境に関しては、近年、既存データをまとめたシステムティックレビューや、住環境の騒音と睡眠を測定した疫学研究が散見される。また寝室の温度環境については、比較的詳細に望ましい室温設定について記載されているが、近年実施された実生活下の疫学研究や、就寝前の入浴や室内温度環境についての研究がみられることから、知見の整理を行った。

B. 研究方法

光環境、騒音環境、温熱環境が睡眠に及ぼす影響に関する疫学研究についてナラティブレビューを行い、研究デザイン、曝露因子やアウトカムとその測定法、分析法、対象者の基本特性、おもな分析結果について整理し、考察した。倫理面

への配慮について、本研究は公表された論文内容を用いたものであり、対象者を特定する個人レベル情報を扱わないものとした。

C. 研究結果

1) 光環境と睡眠

夜間の光環境と睡眠に関する疫学研究について文献検索を行い、抄録やフルテキストをレビューした結果、最終的に9編の論文が該当すると考えた(表1)。9編のうち、4編が衛星写真から推定した屋外の明るさを曝露因子として用いた論文であった。残りの5編は、寝室に設置した照度ロガーまたは手首や額に装着する照度ロガーを用いて測定した照度または短波長光パワーを曝露因子として用いた論文であった。2編の短期間縦断分析を除くと、他の7編は横断分析結果であった。9編中7編で夜間の光環境と睡眠の間に有意な関連を認めた。

日中の光環境と睡眠に関する疫学研究について文献検索を行い、抄録やフルテキストをレビューした結果、最終的に3編の論文が該当すると考えた(表2)。1編が短期間縦断分析で、他の2編は横断分析結果であった。3編中2編で日中の光環境と睡眠の間に有意な関連を認めた。

2) 夜間の環境騒音と睡眠

夜間の環境騒音の健康影響に関する疫学研究としては、建物外部で実測した騒音と、建物に住む対象者の睡眠に関する症状を調査した横断研究が多く実施されている。しかし研究結果は学会発表や調査報告書によるものが多く、査読を経た研究論文が乏しい点や、睡眠症状の質問内容が一貫していない点が課題であった。これらの先行研究について、対象者別データを収集したメタ解析を行ったレビュー論文が2編存在した(表3)。1編は1971~2004年の先行研究の結果をまとめたナラティブレビューで、合計23400人の結果を統合したメタ解析の結果は、鉄道、道路、航空機による夜間平均騒音レベルが高いと、主観的睡眠障害の有病率が有意高い関連を示した[12]。もう1編は、2000年以降に発表された研究に関するシステマティックレビューであった。そのメタ解析によると、調査票に騒音源に関する質問を含む研究(対象者数33714人)では、夜間の騒音と主観的睡眠障害に有意な関連が見られたのに対し、騒

音源に関する質問を含まない睡眠調査(対象者数30515人)では、有意な関連がみられなかった[13]。

さらに寝室内で夜間騒音を測定し、ポリソムノグラフィーで客観的に評価した睡眠の関連を検討した論文が3篇存在した。そのうち2編は、騒音イベントとその直後の睡眠ステージの変化確率を検討した縦断研究で、騒音イベントの最大音圧は睡眠ステージ変化と有意に関連していた(表3)。

3) 温度環境と睡眠

就寝中の寝室温度と睡眠の関連についての疫学研究として6編の横断研究がみられた。そのうち3編は、調査票を用いた主観的睡眠との関連を報告しており、他の3編はアクチグラフィーなどを用いて客観的に測定した睡眠との関連を報告していた。6編のうち5編の論文は、室温が高い場合に、睡眠の質が有意に低いとする横断関連を指摘していた(表4)。

さらに就寝前の温度環境が睡眠に及ぼす影響の研究として、就寝前の室温や入浴と睡眠の関連についての研究を検索した。就寝前の室温と入眠潜時に関する短期縦断関連に関する研究が1編みられ、就寝前2時間の室温が高いと、主観的・客観的入眠潜時が有意に短縮する関連を報告していた。入浴を含むPassive Body heating(PBH)と睡眠に関しては、システマティックレビューが1編報告されており、少人数(5名から25名)を対象とする介入研究からなる11の先行研究のデータを用いたメタ解析は、入浴と入眠潜時短縮の有意な関連を示していた。さらに実生活下での入浴と入眠潜時の短期的縦断関連を報告する疫学研究が1編みられた(表5)。

D. 考察

1) 光環境と睡眠

本レビューで照度や短波長光パワーを実測して、睡眠指標との関連を検討した疫学研究の数が乏しいことが分かった。多くは横断研究であり、縦断分析で光環境の睡眠に対する短期影響を検討した研究は数編あったが、長期影響を検討した研究はなかった。このことから、これまでの先行実験研究で示されている日中光曝露が睡眠の質を改善すること、夜間の光曝露が睡眠の質を悪化させ

ることについて、リアルワールドデータを用いた疫学研究で立証されているとは言えないのが現状である。しかし近年、リアルワールドに近い条件の光環境プロトコルで実施された実験研究が増えてきており、日常生活下の光環境が睡眠に及ぼす影響について考察したい。

ヒトの生体リズムは、視床下部の視交叉上核に存在する体内時計で制御されている。体内時計は光曝露により時刻調整されることが広く知られており、朝の比較的早い時刻の光曝露により生体リズムの位相は前進し、夜間の光曝露により位相は後退することが、位相反応曲線（phase-response curve）により明らかになっている[26]。また高照度で短波長領域の光が生体リズムへの影響は強いことが知られている。生体リズムと関連が深いホルモンであるメラトニンは、主に夜間に松果体から血液中に放出され、その分泌中に光に曝露されることにより分泌が抑制されることが知られている。メラトニンの生理作用は生体リズムの調整や睡眠を促す作用などが報告されている[27]。

Zeitzer らは、夜間の約 100 ルクスの光曝露がメラトニン分泌を 90% 近く抑制し、3 ルクスの低照度曝露でもメラトニン分泌を 10% 程度抑制することを報告した[28]。Gooley らは、就寝前の 200 ルクスの光曝露がメラトニン分泌の抑制や生体リズム位相の後退の原因になることが報告している[29]。Cajochen らは、夜間に 550nm の光よりも 460nm の光の方が、メラトニン抑制が強いことを報告した[30]。また 5 ルクス程度の夜間の低照度光曝露が睡眠の質が低下する可能性が報告されている[31]。

一方、日中の光曝露と睡眠の関連について、Mishima ら[32]は、不眠症の高齢者を対象に、日中に 2500 ルクスの光曝露による夜間のメラトニン分泌量増加を報告した。また Hébert らは、日中の光曝露による夜間の光感受性の低下を報告しており[33]、日中と夜間の光曝露の作用は互いに関連している可能性が考えられる。

2) 夜間の環境騒音と睡眠

コントロール下の実験研究では、交通騒音に曝露した場合、浅いノンレム睡眠の増加や、徐波睡眠の時間が減少することが報告されている。しかし騒音曝露による睡眠への影響には慣れ

(habituation effect) がみられたことから、日常的な騒音環境での睡眠影響を調査することが重要と考えられている[34]。

本レビューでは、建物外で測定した夜間騒音と主観的睡眠障害の関連に関する大規模な横断研究が見られたがおもに 3 つの限界点が考えられる。1 つ目は、これらの横断研究では騒音の大きさと睡眠症状を同時に測定しているため、騒音と睡眠症状の因果関係を特定することが難しい点である。2 つめは、主観的睡眠症状は情報バイアスによって左右される可能性がある点である。同じ調査票において、騒音源に関する質問と睡眠に関する症状を質問していた研究では、騒音と睡眠症状に有意な関連があったのに対し、騒音源に関する質問を含まない調査票を用いた研究では、有意な関連が見られなかった結果は、バイアスの存在を示唆するものである。3 つ目は、建物外で測定した夜間騒音は、必ずしも正確に調査対象者の睡眠環境の状態を反映していない点である。これは対象者の壁の厚みや材質、窓ガラスの性状（単層・複層）などによって、室内と室外の騒音レベルの差が一定ではないためである。

以上より対象者の寝室内で測定した騒音と、騒音発生直後の睡眠への影響を、客観的に測定した研究が、最も妥当性の高い研究といえる。このような条件を満たす研究は 3 編みられ、騒音が睡眠障害を引き起こす可能性が示唆されたが、いずれの研究も対象者数が 100 人未満と限られている点や、交通騒音以外の騒音の影響を考慮していない点が限界点と考えられた。今後は大規模な対象者での疫学研究が必要と考えられた。

3) 温度環境と睡眠

これまでコントロール環境下での生理学実験によって、就寝中の温度環境による睡眠への影響が指摘されている。ふとんや毛布などの寝具なしで、わずか着衣のみで睡眠する条件下で実施された生理学実験は、29℃の室温に比べて、軽度の室温低下（24℃）や室温上昇（37℃）で睡眠の質が低下することを示した[35]。しかし十分な寝具を用いる条件下では室温低下時（10℃、17℃）のポリソムノグラフィーで測定した睡眠効率は 95.6%、94.9% と高く保たれる一方[36]、20℃の室温時と比べ（92.6%）35℃の室温では睡眠効率は 89.0% に低下することが示された[37]。これら

の結果は、寝具を用いる日常環境では、室温低下による影響より室温上昇による睡眠の質の低下が問題となる可能性を示唆しており、今回レビューした就寝中の室温と睡眠に関する疫学研究の結果と概ね一致する。しかしこれらの疫学研究は比較的少人数を対象とする研究が多いため、交絡要因の影響を十分に調整できていない可能性があることや、温度環境や睡眠測定の間隔が短いことなどの限界点が挙げられる。今後の研究として、就寝中の室温をどの程度に調整するのが最も望ましいかを検討するための大規模疫学研究が望まれる。

就寝前の温度環境に関する疫学研究は、就寝前の室温を暖かく保つことや、入浴が入眠潜時を短縮させ、速やかな入眠につながる可能性を示唆した。この結果は、深部体温リズムと睡眠覚醒リズムの密接な関係に関するこれまでの知見と整合するものである。深部体温は日中の覚醒時に高く、夜間の睡眠時に低下する。就寝前に四肢の皮膚温が上昇し熱放散が増加した結果、深部体温が低下し始めると、入眠しやすい状態となることが報告されている[38]。就寝前に寒冷曝露を避けることや、入浴することは、睡眠前の熱放散や深部体温の低下を促進することで、入眠潜時を短縮したと考えられる。

E. 結論

これまでの先行実験研究から、就寝前から就寝中の光、就寝中の騒音、就寝中の高温への曝露が、睡眠の質を低下させ、日中の光曝露や就寝前の入浴が睡眠の質を向上させることが考えられるが、リアルワールドのデータを用いた疫学研究ではいくつかの横断研究や短期間の縦断研究で同様の結果が示されているものの、個人レベルで実測した環境要因と睡眠に関する疫学研究の数は非常に乏しく、エビデンスは確立していると言えず、この領域における更なる疫学研究が必要であると考えられた。

F. 研究発表

特になし

引用文献

1. Brown TM, Brainard GC, Cajochen C, Czeisler CA, Hanifin JP, Lockley SW, Lucas RJ, Münch M, O'Hagan JB, Peirson SN, Price LLA, Roenneberg T, Schlangen LJM, Skene DJ, Spitschan M, Vetter C, Zee PC, Wright KP Jr. Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. *PLoS Biol.* 2022 Mar 17;20(3):e3001571. doi: 10.1371/journal.pbio.3001571. PMID: 35298459; PMCID: PMC8929548.
2. Wallace-Guy GM, Kripke DF, Jean-Louis G, Langer RD, Elliott JA, Tuunainen A. Evening light exposure: implications for sleep and depression. *J Am Geriatr Soc.* 2002 Apr;50(4):738-9. doi: 10.1046/j.1532-5415.2002.50171.x. PMID: 11982677.
3. Obayashi K, Saeki K, Kurumatani N. Association between light exposure at night and insomnia in the general elderly population: the HEIJO-KYO cohort. *Chronobiol Int.* 2014 Nov;31(9):976-82. doi: 10.3109/07420528.2014.937491. Epub 2014 Jul 15. PMID: 25025617.
4. Obayashi K, Saeki K, Iwamoto J, Okamoto N, Tomioka K, Nezu S, Ikada Y, Kurumatani N. Effect of exposure to evening light on sleep initiation in the elderly: a longitudinal analysis for repeated measurements in home settings. *Chronobiol Int.* 2014 May;31(4):461-7. doi: 10.3109/07420528.2013.840647. Epub 2013 Oct 22. PMID: 24147658.
5. Koo YS, Song JY, Joo EY, Lee HJ, Lee E, Lee SK, Jung KY. Outdoor artificial light at night, obesity, and sleep health: Cross-sectional analysis in the KoGES study. *Chronobiol Int.* 2016;33(3):301-14. doi: 10.3109/07420528.2016.1143480. Epub 2016 Mar 7. PMID: 26950542.
6. Obayashi K, Yamagami Y, Kurumatani N, Saeki K. Pre-awake light exposure and sleep disturbances: findings from the HEIJO-KYO

- cohort. *Sleep Med.* 2019 Feb;54:121-125. doi: 10.1016/j.sleep.2018.10.027. Epub 2018 Nov 14. PMID: 30554055.
7. Xiao Q, Gee G, Jones RR, Jia P, James P, Hale L. Cross-sectional association between outdoor artificial light at night and sleep duration in middle-to-older aged adults: The NIH-AARP Diet and Health Study. *Environ Res.* 2020 Jan;180:108823. doi: 10.1016/j.envres.2019.108823. Epub 2019 Oct 12. PMID: 31627155; PMCID: PMC6996197.
 8. Paksarian D, Rudolph KE, Stapp EK, Dunster GP, He J, Mennitt D, Hattar S, Casey JA, James P, Merikangas KR. Association of Outdoor Artificial Light at Night With Mental Disorders and Sleep Patterns Among US Adolescents. *JAMA Psychiatry.* 2020 Dec 1;77(12):1266-1275. doi: 10.1001/jamapsychiatry.2020.1935. PMID: 32639562; PMCID: PMC7344797.
 9. Amdisen L, Daugaard S, Vestergaard JM, Vested A, Bonde JP, Vistisen HT, Christoffersen J, Garde AH, Hansen ÅM, Markvart J, Schlünssen V, Kolstad HA. A longitudinal study of morning, evening, and night light intensities and nocturnal sleep quality in a working population. *Chronobiol Int.* 2021 Dec 14:1-11. doi: 10.1080/07420528.2021.2010741. Epub ahead of print. PMID: 34903140.
 10. Mitsui K, Saeki K, Tone N, Suzuki S, Takamiya S, Tai Y, Yamagami Y, Obayashi K. Short-wavelength light exposure at night and sleep disturbances accompanied by decreased melatonin secretion in real-life settings: a cross-sectional study of the HEIJO-KYO cohort. *Sleep Med.* 2022 Feb;90:192-198. doi: 10.1016/j.sleep.2022.01.023. Epub 2022 Feb 5. PMID: 35190318.
 11. Boubekri M, Cheung IN, Reid KJ, Wang CH, Zee PC. Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: a case-control pilot study. *J Clin Sleep Med.* 2014 Jun 15;10(6):603-11. doi: 10.5664/jcsm.3780. PMID: 24932139; PMCID: PMC4031400.
 12. Miedema HM, Vos H. Associations between self-reported sleep disturbance and environmental noise based on reanalyses of pooled data from 24 studies. *Behav Sleep Med.* 2007;5(1):1-20. Epub 2007/02/23. doi: 10.1207/s15402010bsm0501_1. PMID: 17313321
 13. Basner M, McGuire S. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Review on Environmental Noise and Effects on Sleep. *Int J Environ Res Public Health.* 2018;15(3). Epub 2018/03/15. doi: 10.3390/ijerph15030519. PMID: 29538344; PMCID: PMC5877064.
 14. Basner M, Samel A, Isermann U. Aircraft noise effects on sleep: application of the results of a large polysomnographic field study. *J Acoust Soc Am.* 2006;119(5 Pt 1):2772-84. Epub 2006/05/20. doi: 10.1121/1.2184247. PMID: 16708935.
 15. Aasvang GM, Overland B, Ursin R, Moum T. A field study of effects of road traffic and railway noise on polysomnographic sleep parameters. *J Acoust Soc Am.* 2011;129(6):3716-26. Epub 2011/06/21. doi: 10.1121/1.3583547. PMID: 21682396.
 16. Elmenhorst EM, Pennig S, Rolny V, Quehl J, Mueller U, Maass H, et al. Examining nocturnal railway noise and aircraft noise in the field: sleep, psychomotor performance, and annoyance. *Sci Total Environ.* 2012;424:48-56. Epub 2012/03/27. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.02.024. PMID: 22444069.
 17. Okamoto-Mizuno K, Tsuzuki K. Effects of season on sleep and skin temperature in the elderly. *Int J Biometeorol.* 2010;54(4):401-9. Epub 2009/12/31. doi: 10.1007/s00484-009-0291-7. PMID: 20041336.
 18. van Loenhout JA, le Grand A, Duijm F, Greven F, Vink NM, Hoek G, et al. The effect of high indoor temperatures on self-perceived health of elderly persons. *Environ Res.* 2016;146:27-34. Epub 2015/12/29. doi:

- 10.1016/j.envres.2015.12.012. PMID: 26710340.
19. Quinn A, Shaman J. Health symptoms in relation to temperature, humidity, and self-reported perceptions of climate in New York City residential environments. *Int J Biometeorol.* 2017;61(7):1209-20. Epub 2017/01/22. doi: 10.1007/s00484-016-1299-4. PMID: 28108783; PMCID: PMC5479711.
 20. Lappharat S, Taneepanichskul N, Reutrakul S, Chirakalwasan N. Effects of Bedroom Environmental Conditions on the Severity of Obstructive Sleep Apnea. *J Clin Sleep Med.* 2018;14(4):565-73. Epub 2018/04/04. doi: 10.5664/jcsm.7046. PMID: 29609708; PMCID: PMC5886434.
 21. Williams AA, Spengler JD, Catalano P, Allen JG, Cedeno-Laurent JG. Building Vulnerability in a Changing Climate: Indoor Temperature Exposures and Health Outcomes in Older Adults Living in Public Housing during an Extreme Heat Event in Cambridge, MA. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(13). Epub 2019/07/07. doi: 10.3390/ijerph16132373. PMID: 31277359; PMCID: PMC6651653.
 22. Zhang X, Luo G, Xie J, Liu J. Associations of bedroom air temperature and CO2 concentration with subjective perceptions and sleep quality during transition seasons. *Indoor air.* 2021;31(4):1004-17. Epub 2021/02/24. doi: 10.1111/ina.12809. PMID: 33620120.
 23. Saeki K, Obayashi K, Tone N, Kurumatani N. A warmer indoor environment in the evening and shorter sleep onset latency in winter: The HEIJO-KYO study. *Physiol Behav.* 2015;149:29-34. Epub 2015/05/26. doi: 10.1016/j.physbeh.2015.05.022. PMID: 26004170.
 24. Haghayegh S, Khoshnevis S, Smolensky MH, Diller KR, Castriotta RJ. Before-bedtime passive body heating by warm shower or bath to improve sleep: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev.* 2019;46:124-35. Epub 2019/05/19. doi: 10.1016/j.smr.2019.04.008. PMID: 31102877.
 25. Tai Y, Obayashi K, Yamagami Y, Yoshimoto K, Kurumatani N, Nishio K, et al. Hot-water bathing before bedtime and shorter sleep onset latency are accompanied by a higher distal-proximal skin temperature gradient in older adults. *J Clin Sleep Med.* 2021;17(6):1257-66. Epub 2021/03/02. doi: 10.5664/jcsm.9180. PMID: 33645499; PMCID: PMC8314650.
 26. Khalsa SB, Jewett ME, Cajochen C, Czeisler CA. A phase response curve to single bright light pulses in human subjects. *J Physiol.* 2003 Jun 15;549(Pt 3):945-52. doi: 10.1113/jphysiol.2003.040477. Epub 2003 Apr 25. PMID: 12717008; PMCID: PMC2342968.
 27. Brzezinski A. Melatonin in humans. *N Engl J Med.* 1997 Jan 16;336(3):186-95. doi: 10.1056/NEJM199701163360306. PMID: 8988899.
 28. Zeitzer JM, Dijk DJ, Kronauer R, Brown E, Czeisler C. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *J Physiol.* 2000 Aug 1;526 Pt 3(Pt 3):695-702. doi: 10.1111/j.1469-7793.2000.00695.x. PMID: 10922269; PMCID: PMC2270041.
 29. Gooley JJ, Chamberlain K, Smith KA, Khalsa SB, Rajaratnam SM, Van Reen E, Zeitzer JM, Czeisler CA, Lockley SW. Exposure to room light before bedtime suppresses melatonin onset and shortens melatonin duration in humans. *J Clin Endocrinol Metab.* 2011 Mar;96(3):E463-72. doi: 10.1210/jc.2010-2098. Epub 2010 Dec 30. PMID: 21193540; PMCID: PMC3047226.
 30. Cajochen C, Münch M, Kobińska S, Kräuchi K, Steiner R, Oelhafen P, Orgül S, Wirz-Justice A. High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *J Clin Endocrinol Metab.* 2005 Mar;90(3):1311-6. doi: 10.1210/jc.2004-0957. Epub 2004 Dec 7. PMID: 15585546.
 31. Chamorro R, Wilms B, Holst A, Röhl C, Mölle M, Knaak A, Meyhöfer S, Lehnert H, Schmid SM. Acute mild dim light at night slightly

- modifies sleep but does not affect glucose homeostasis in healthy men. *Sleep Med.* 2021 Aug;84:158-164. doi: 10.1016/j.sleep.2021.05.038. Epub 2021 Jun 4. PMID: 34153798.
- Integr Comp Physiol. 2000;278(3):R741-8. Epub 2000/03/11. doi: 10.1152/ajpregu.2000.278.3.R741. PMID: 10712296.
32. Mishima K, Okawa M, Shimizu T, Hishikawa Y. Diminished melatonin secretion in the elderly caused by insufficient environmental illumination. *J Clin Endocrinol Metab.* 2001 Jan;86(1):129-34. doi: 10.1210/jcem.86.1.7097. PMID: 11231989.
 33. Hébert M, Martin SK, Lee C, Eastman CI. The effects of prior light history on the suppression of melatonin by light in humans. *J Pineal Res.* 2002 Nov;33(4):198-203. doi: 10.1034/j.1600-079x.2002.01885.x. PMID: 12390501; PMCID: PMC3925650.
 34. Basner M, Muller U, Elmenhorst EM. Single and combined effects of air, road, and rail traffic noise on sleep and recuperation. *Sleep.* 2011;34(1):11-23. Epub 2011/01/05. doi: 10.1093/sleep/34.1.11. PMID: 21203365; PMCID: PMC3001788.
 35. Haskell EH, Palca JW, Walker JM, Berger RJ, Heller HC. The effects of high and low ambient temperatures on human sleep stages. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1981;51(5):494-501. Epub 1981/05/01. doi: 10.1016/0013-4694(81)90226-1. PMID: 6165549.
 36. Okamoto-Mizuno K, Tsuzuki K, Mizuno K, Ohshiro Y. Effects of low ambient temperature on heart rate variability during sleep in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2009;105(2):191-7. Epub 2008/11/19. doi: 10.1007/s00421-008-0889-1. PMID: 19015871.
 37. Libert JP, Di Nisi J, Fukuda H, Muzet A, Ehrhart J, Amoros C. Effect of continuous heat exposure on sleep stages in humans. *Sleep.* 1988;11(2):195-209. Epub 1988/04/01. doi: 10.1093/sleep/11.2.195. PMID: 3381060.
 38. Krauchi K, Cajochen C, Werth E, Wirz-Justice A. Functional link between distal vasodilation and sleep-onset latency? *Am J Physiol Regul*

表1 夜間の光環境と睡眠の関連

| 著者 (日付) | 国 | 対象者数 | 対象者年齢 | 研究デザイン | 曝露因子 (測定方法) | アウトカム (測定方法) | 分析方法 | 主な結果【交絡因子】 |
|-----------------------------|-------|----------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------------------|---|---------------------------------------|---|
| Wallace-guy et al. 2002 [2] | 米国 | 154 人 (M0/F154) | 66.7 歳 (SD 不明) | Cross-sectional | 就寝前 4 時間の平均曝露照度 (wrist light meter) | 中途覚醒時間・睡眠効率・入眠潜時・総睡眠時間 (アクチグラフ/睡眠日誌) | 不明 | 就寝前 4 時間の平均曝露照度とアクチグラフ睡眠項目は有意な関連を認めなかった【年齢、季節】 |
| Obayashi et al. 2014 [3] | 日本 | 857 人 (M425/F432) | 72.2 歳±7.1 (SD) | Cross-sectional | 入床中の平均寝室照度 (light meter/水平照度) | 睡眠障害 (質問票: PSQI)、中途覚醒時間・睡眠効率・入眠潜時・総睡眠時間 (アクチグラフ) | ロジスティック回帰分析 (睡眠障害)、共分散分析 (アクチグラフ睡眠項目) | 入床中平均曝露照度増加で睡眠障害割合が有意に高かった (調整 OR=1.61: 第 1 四分位群 vs. 第 4 四分位群)、入床中平均曝露照度増加でアクチグラフ睡眠項目 (中途覚醒時間・睡眠効率・入眠潜時・総睡眠時間) が有意に悪かった【年齢、性、BMI、身体活動量、メラトニン分泌量、入床時刻、離床時刻、日長時間】 |
| Obayashi et al. 2014 [4] | 日本 | 192 人 (M96/F96) | 69.9 歳±6.3 (SD) | Longitudinal (short-term) | 入床前 4 時間の平均曝露照度 (wrist light meter) | 入眠潜時 (アクチグラフ) | 線形混合効果モデル | 入床前 4 時間の平均曝露照度増加で入眠潜時が有意に延長していた (調整回帰係数=0.133: per log lux 増加毎)【年齢、性、身体活動量、入床時間、日長時間、入床中平均曝露照度】 |
| Koo et al. 2016 [5] | 韓国 | 8526 人 (M4010/F4526) | 52.9 歳±9.0 (SD) | Cross-sectional | 夜間の屋外の明るさ強度 (衛星写真) | 睡眠障害 (質問票) | ロジスティック回帰分析 | 衛星写真の明るさ強度の高い群は低い群より睡眠障害割合が有意に高かった (調整 OR=1.53)【年齢、性、被教育歴、住居タイプ、収入、飲酒、喫煙、就寝前カフェイン摂取、うつ、肥満】 |
| Obayashi et al. 2019 [6] | 日本 | 1108 人 (M521/F587) | 71.9 歳±7.1 (SD) | Cross-sectional | 離床前 2 時間の平均寝室照度 (light meter/水平照度) | 睡眠障害 (質問票: PSQI)、中途覚醒時間・睡眠効率・入眠潜時・総睡眠時間 (アクチグラフ) | ロジスティック回帰分析 (睡眠障害)、共分散分析 (アクチグラフ睡眠項目) | 離床前 2 時間の平均寝室照度増加で睡眠障害割合が有意に高かった (調整 OR=1.56: 第 1 四分位群 vs. 第 4 四分位群)、離床前 2 時間の平均寝室照度増加でアクチグラフ睡眠項目 (中途覚醒時間・睡眠効率・入眠潜時) が有意に悪かった【年齢、性、BMI、飲酒、喫煙、高血圧、糖尿病、身体活動量、メラトニン分泌量、入床時刻、離床時刻、日長時間】 |
| Xiao et al. 2020 [7] | 米国 | 333365 人 (M196005/F137360) | 不明 (約 62 歳) | Cross-sectional | 夜間の屋外の明るさ強度 (衛星写真) | 睡眠時間 (質問票) | ロジスティック回帰分析 | 衛星写真の夜間屋外の明るさ強度増加で短時間睡眠 (7 時間未満) の割合が有意に高かった (女性: 調整 OR=1.16: 第 1 五分位群 vs. 第 5 五分位群/男性: 調整 OR=1.25: 第 1 五分位群 vs. 第 5 五分位群)【年齢、人種、婚姻、住所、喫煙、飲酒、身体活動量、テレビ視聴、住宅価格】 |
| Paksarian et al. 2020 [8] | 米国 | 10123 人 (M4953/F5170) | 15.2 歳 ±0.06 (SD) | Cross-sectional | 夜間の屋外の明るさ強度 (衛星写真) | 睡眠パターン (平日の入床時刻・平日の睡眠時間・週末-平日の入床時刻の差・週末の過剰睡眠時間) (質問票) | ロジスティック回帰分析 | 衛星写真の夜間屋外の明るさ強度増加で睡眠パターン (平日の入床時刻・平日の睡眠時間・週末-平日の入床時刻の差) と有意に悪かった |
| Amdisen et al. 2021 [9] | デンマーク | 317 人 (M212/F105) | 43 歳±12 (SD) | Longitudinal (short-term) | 就寝前 2 時間の平均曝露照度、入床中の平均寝 | 入眠潜時、中途覚醒、睡眠障害 (質問票) | 線形混合効果モデル | 就寝前 2 時間および入床中の平均寝室照度と睡眠指標は有意な関連を認めなかった【年齢、性、BMI、喫煙、クロノタイプ、カフェイン、日中光 |

| | | | | | 室照度 (wrist light meter) | | | 曝露量】 |
|-------------------------|----|---------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| Mitsui et al. 2022 [10] | 日本 | 580 人 (M272 / F308) | 71.0 歳±7.6 (SD) | Cross-sectional | 入床中の平均曝露短波長光パワー (短波長光 meter 付ヘッドバンド) | 睡眠障害 (質問票: PSQI)、中途覚醒時間・睡眠効率・入眠潜時・総睡眠時間 (アクチグラフ) | ロジスティック回帰分析 (睡眠障害)、共分散分析 (アクチグラフ睡眠項目) | 入床中の平均曝露短波長光パワー増加で睡眠障害割合が有意に高い (調整 OR=1.90: 第1 三分位群 vs. 第3 三分位群)、入床中の平均曝露短波長光パワー増加でアクチグラフ睡眠項目 (中途覚醒時間・睡眠効率・入眠潜時・断眠係数) が有意に悪い 【年齢、性、BMI、飲酒、喫煙、高血圧、糖尿病、身体活動量、メラトニン分泌量、入床時刻、離床時刻、日長時間】 |

表2 日中の光環境と睡眠の関連

| 著者（日付） | 国 | 対象者数 | 対象者年齢 | 研究デザイン | 曝露因子（測定方法） | アウトカム（測定方法） | 分析方法 | 主な結果【交絡因子】 |
|-----------------------------|-------|-----------------|-------------|--------------------------|----------------------------------|---|-----------|--|
| Wallace-guy et al. 2002 [2] | 米国 | 154人（M0/F154） | 66.7歳（SD不明） | Cross-sectional | 24時間の平均曝露照度（wrist light meter） | 中途覚醒時間・睡眠効率・入眠潜時・総睡眠時間（アクチグラフ/睡眠日誌） | 不明 | 24時間の平均曝露照度増加でアクチグラフ睡眠項目（中途覚醒時間・入眠潜時）が有意に良かった【年齢、季節】 |
| Boubekri et al. 2014 [11] | 米国 | 49人（M19/F30） | 不明（約45歳） | Cross-sectional | 窓側の業務スペース | 業務中の曝露照度（wrist light meter）、睡眠の質（質問票：PSQI/アクチグラフ） | t-test | 窓側の業務スペースの職員は業務中の曝露照度が有意に高く、PSQIスコアが有意に低かった【無し】 |
| Amdisen et al. 2021 [9] | デンマーク | 317人（M212/F105） | 43歳±12（SD） | Longitudinal（short-term） | 起床後2時間の平均曝露照度（wrist light meter） | 入眠潜時、中途覚醒、睡眠障害（質問票） | 線形混合効果モデル | 起床後2時間の平均寝室照度と睡眠指標は有意な関連を認めなかった【年齢、性、BMI、喫煙、クロノタイプ、カフェイン、日中光曝露量】 |

表3 夜間の騒音と睡眠の関連

| 著者(日付) | 国 | 対象者数 | 対象者年齢 | 研究デザイン | 曝露因子(測定方法) | アウトカム(測定方法) | 分析方法 | 主な結果【交絡因子】 |
|--------------------------|---------------------------------------|---|----------------|--|---|--|---|---|
| Miedema et al. 2007 [12] | 欧州、北米、日本 (1971～2004年) | 24の横断研究に参加した23400人(航空機騒音曝露者9982人、道路騒音曝露者10231人、鉄道騒音者3187人)のうち、年齢が判明し、45-65dBの騒音に曝露した22771人。 | 中央値45歳(12-98歳) | Narrative review: 先行研究の対象者別データを用いたメタ解析 | 夜間(午後11時から午前7時)に建物外部で曝露する交通騒音の平均値(A特性重みづけ音圧, dB)。 | 睡眠障害(質問票): 各先行研究で用いた質問票が異なるため、そのばらつきを標準化したスコア(1-100点)に換算した。 | 睡眠障害を従属変数、夜間騒音および交絡因子を独立変数とし、各研究による影響をランダム切片する混合線形モデル。 | 夜間騒音と睡眠障害は、有意な正の相関を示し、その影響は騒音源によって異なっていた。多変量解析の結果、道路および鉄道騒音における夜間騒音の回帰係数は1.72(95%CI: 1.52 to 1.92, p<0.01)で、航空機騒音では夜間騒音の回帰係数は3.15(95%CI: 2.72 to 3.58, p<0.01)であった。【年齢、年齢 ² 、対象者が参加した研究】 |
| Basner et al. 2018 [13] | 欧州、東南アジア、日本、韓国、香港 (2002～2015年) | 2000年以降に発表された30の先行研究に参加したのべ64229人(内訳: 航空機騒音曝露者9634人、道路騒音曝露者38970人、鉄道騒音曝露者15625人。) | 記載なし | Systematic review: 対象者別データ(一部制限あり)を用いたメタ解析 | 夜間に建物外部で曝露する交通騒音の平均値(A特性重みづけ音圧, dB)。測定値または24時間平均騒音に基づく推定値を分析に用いた。 | 睡眠障害(質問票): 入眠障害、中途覚醒、不眠症状の強さは5段階または11段階で質問されており、5段階のうち4以上、11段階のうち9以上の症状を「強い睡眠障害あり」とみなした。1つの研究で複数の症状を調査した場合は、結果の平均値を分析に用いた。 | 強い睡眠障害を従属変数、夜間の騒音レベル10dB高値を独立変数とし、各研究別のランダム効果、騒音による影響を固定効果とする混合効果ロジスティック回帰モデルを用いて、粗オッズ比を算出した。 バイアスを考慮して、騒音元に関する質問を含む研究と、同質問を含まない研究で層別化分析が行われた。 | ・騒音源に関する質問を含む研究(n=33714) 夜間騒音10dB上昇に関連する睡眠障害のオッズ比は、航空機騒音曝露者(n=6461)で1.94(95%CI: 1.61 to 2.33)、道路騒音曝露者(n=20120)で2.13(95%CI: 1.82 to 2.48)、鉄道騒音曝露者(n=7133)で3.06(95%CI: 2.38 to 3.93)で、有意な関連がみられた。 ・騒音源に関する質問を含まない研究(n=30515) 夜間騒音10dB上昇に関連する睡眠障害のオッズ比は、航空機騒音曝露者(n=3173)で1.17(95%CI: 0.54 to 2.53)、道路騒音曝露者(n=18850)で1.09(95%CI: 0.94 to 1.27)、鉄道騒音曝露者(n=8494)で1.27(95%CI: 0.89 to 1.18)で、いずれも有意な関連が見られなかった。 |
| Basner et al. 2006 [14] | ドイツ | 64人(M28/F36)×9晩 | 38歳(19-61歳) | Longitudinal (short-term) | 被験者宅の寝室内で測定した航空機騒音(被験者の耳付近に設置した騒音計) | 睡眠構造、ノイズイベント発生後、90秒までの覚醒またはS1への睡眠ステージ変化確率(ポリソムノグラフィ) | 混合効果ロジスティック回帰モデル | 航空機による騒音イベントの最大音圧値は、睡眠ステージが覚醒またはS1へ変化する確率に有意な正の関連を示し(p<0.001)、約40dB以上の最大音圧のイベントにおいて、自然覚醒確率を有意に上回った。【背景騒音レベル、曝露時の睡眠ステージ、曝露時までの睡眠時間】 |
| Aasvang et al. 2011 [15] | ノルウェー | 40人(M20/F20); その | 48.5歳(35-60歳) | Longitudinal (short-term) | 被験者宅の寝室内で測定した騒 | 睡眠構造 | Spearman 順位相関係数、一般線 | 鉄道騒音曝露者において、夜間の平均騒音レベルは、REM睡眠時間と有意な負の関連を示し(rs=- |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----|---|--|---|---|---|--------------------------|--|
| | | うち鉄道騒音 曝露者 20 人、 道路騒音曝露 者 20 人 | | term) | 音 (被験者の頭 付近に騒音計を 設置) | | 形モデル | 0.71, $p < 0.01$)、年齢調整後もその関連は有意であ った ($p = 0.02$)。【年齢】 |
| Elmenhorst et al. 2012 [16] | ドイツ | 33 人 (M11/ F22) ×9 晩 | 36.2 歳 ±10.3 (SD) | Longitudinal (short- term) | 被験者宅の寝室 内で測定した鉄 道騒音 (被験者 の耳付近に設置 した騒音計) | ノイズイベント直後の 覚醒または S1 への睡眠 ステージ変化確率 (ポ リソムノグラフィー) | 混合効果ロジス ティック回帰モ デル | 鉄道による騒音イベントの最大音圧値は、睡眠ス テージが覚醒または S1 へ変化する確率に有意な正 の関連を示した。 【年齢、性別、背景騒音レベル、曝露時の睡眠ス テージ、曝露時までに、曝露時の睡眠ステージで 経過した時間、曝露時までの睡眠時間】 |
| Basner et al. 2018 [13] | ドイツ | 97 人 (M39/ F58) ×9 晩 | 64 人 : 平 均 38 歳 (19-61 歳) 33 人 36.2 歳 ±10.3 (SD) | Systematic review of longitudinal study (short- term) 論文 13,15) データを用い たメタ解析 | 被験者宅の寝室 内で測定した鉄 道騒音 (被験者 の耳付近に設置 した騒音計) | ノイズイベント直後 90 秒までの覚醒または S1 への睡眠ステージ変化 確率 (ポリソムノグラ フィー) | 混合効果ロジス ティック回帰モ デル | 騒音イベントの最大音圧値 (10dB 上昇) と、睡眠 ステージ変化 (覚醒または S1 へ変化の変化) は有 意に関連し、調整オッズ比は、下記のとおりであ った。 道路騒音: 1.32 (1.15 to 1.50) 航空機騒音: 1.32 (1.19 to 1.47) 鉄道騒音: 1.34 (1.19 to 1.51) 【年齢、性別、週末 or not、入眠後経過時間】 |

表4 就寝中の室温と睡眠の関連

| 著者（日付） | 国 | 対象者数 | 対象者年齢 | 研究デザイン | 曝露因子（測定方法） | アウトカム（測定方法） | 分析方法 | 主な結果【交絡因子】 |
|--------------------------------|------|--------------------------|----------------|--|--|--|---|---|
| Okamoto-Mizuno et al.2010 [17] | 日本 | 19人（M13/F6） | 65.8歳± | Cross-sectional 冬(2月)、秋(10-11月)、夏(7-8月)に5日連続測定 | 寝室の室温、相対湿度は1分間隔で測定。 | 睡眠効率（アクチグラフィー） | 一元配置分散分析、Fisher's protected least significance difference | 冬、秋、夏の寝室温（相対湿度）は9.5°C(59.9%)、15.4°C(69.2%)、27.7°C(74.0%)で、睡眠効率は91.3%、90.3%、80.8%で、秋・冬と比べて夏の睡眠効率は有意に低かった。 |
| Loenhout et al.2016 [18] | オランダ | 113人（M51/F62） | 73.8歳±7.5(SD) | Cross-sectional | 居間・寝室温(4-9月測定) | 睡眠障害（質問票）：被験者は、5月1～7日と、8月14～20日に、週1回自記式質問票で睡眠障害の有無を回答した。 | ポアソン回帰モデル | 居間の24時間平均室温の1°C上昇は、睡眠障害の有病率21%増加（95%CI: 7-37%）と有意に関連した（P<0.002）【年齢、性別】 |
| Quinn et al.2017 [19] | 米国 | 40人 | 28.5歳（中央値） | Cross-sectional 夏：2014年5-9月、2015年5-9月、冬：2014年11-2015年3月の3期間に測定した。 | 居間および寝室温の温度は、床上1.5mの位置で60分間隔ごとに測定した。 | 主観的睡眠の質（質問票） | 混合効果ロジスティック回帰モデル | 15名は3期間すべての測定を完了し、13名は2期間、12名は1期間のみの測定を完了した。夏の測定において、24時間室温平均値1°C高値は、睡眠の質が「いつもより悪い」と回答する割合と有意に関連した（粗オッズ比:2.28, p<005）。 |
| Lapphurat et al.2018 [20] | タイ | 63人の閉塞性睡眠時無呼吸患者（M46/F17） | 42歳（中央値） | Cross-sectional | 雨季（5-8月）と乾季（12-3月）の3晩、寝室の室温および相対湿度を5分毎に測定した。 | 睡眠障害（質問票：PSQI>5を睡眠障害とする） | 多重ロジスティック回帰分析 | 参加者の年平均寝室温は、26.12°Cで、睡眠中の寝室温高値は、睡眠障害の有病率と有意に関連した。（調整オッズ比:1.46, 95%CI:1.01 to 2.10）【年齢、性別、BMI、飲酒喫煙、受動喫煙の有無、apnea-hypopnea index】 |
| Williams et al.2019 [21] | 米国 | 51人（M22/F29） | 65歳（SD不明） | Cross-sectional | 対象者宅の室温は5分間隔で測定し、24時間平均値が算出された。測定は6-8月に実施した。 | アクチグラフィーを用いて、寝返りの回数を測定した。 | 一般加法モデル | 室温は1晩あたりの寝返り回数と正の相関を示した。 |
| Zhang et al. 2021 [22] | 中国 | 104人（M32/F72） | 29.0歳±11.4（SD） | Cross-sectional | 夜間の寝室温をベッドサイドのテーブルで、5分間隔で測定した。各対象者は春（4月）および秋（9、10月）に1晩の測定を行った。 | 主観的睡眠の質（質問票）：寝つきの良さ、起床時の回復感、睡眠の満足感、客観的睡眠の質（アクチグラフィー） | Spearmanの順位相関係数 | 夜間の寝室温と主観的・および客観的睡眠の質には有意な関連は認めなかった。 |

表5 就寝前の室温・入浴と睡眠の関連

| 著者（日付） | 国 | 対象者数 | 対象者年齢 | 研究デザイン | 曝露因子（測定方法） | アウトカム（測定方法） | 分析方法 | 主な結果【交絡因子】 |
|---------------------------|----|----------------------|------------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------|---|
| Saeki et al. [23] | 日本 | 861 人 (M423 / F438) | 72.1 歳 ±7.1(SD) | Longitudinal (short-term) | 就寝前 2 時間の居室温 | 客観的入眠潜時（アクチグラフ）、主観的入眠潜時 | 多変量混合線形回帰モデル | 就寝前の室温 1°C 上昇は、有意に主観的入眠潜時の短縮（-0.021 log-min, 95%CI: -0.034 to -0.070）および客観的入眠潜時の短縮（-0.019 log-min, 95%CI: -0.034 to -0.003）と関連した。 【年齢、性別、BMI、飲酒、喫煙、睡眠薬・抗うつ薬・降圧薬の服用、入床時刻、身体活動量、外出時間、所得】 |
| Haghighy et al. 2019 [24] | 多数 | 134 人 (11 の研究参加者) | 記載なし | Systematic review | 就寝前の PBH: Passive body heating（入浴を含む） | 客観測定による入眠潜時 | ランダム効果モデルを用いたメタ解析 | 就寝前 1-2 時間の PBH は、有意な入眠潜時短縮と関連した（Effect size: -1.01, 95%CI: -1.50 to -0.52, p<0.01）。また 20 分を超える PBH は有意な入眠潜時の短縮と関連した（Effect size: -0.61, 95%CI: -0.94 to -0.28, p<0.01） |
| Tai et al. 2021 [25] | 日本 | 1094 人 (M512 / F582) | 72.0 歳 ±7.1 (SD) | Longitudinal (short-term) | 入浴の有無、入湯時間、入浴から入床までの時間 | 客観的入眠潜時（アクチグラフ）、主観的入眠潜時 | 多変量混合線形回帰モデル | 就寝前 61-120 分の、10 間以上の入浴は対照と比べて、主観的入眠潜時の有意な短縮（-0.16 log-min, 95%CI: -0.30 to -0.01）、客観的入眠潜時の有意な短縮（-0.23 log-min, 95%CI: -0.42 to -0.03）と関連した。また就寝前 121-180 分の、10 間以上の入浴は対照と比べて、主観的入眠潜時の有意な短縮（-0.18 log-min, 95%CI: -0.35 to -0.01）、客観的入眠潜時の有意な短縮（-0.32 log-min, 95%CI: -0.56 to -0.09）と関連した。【年齢、性別、BMI、飲酒、喫煙、所得、教育歴、交代制勤務歴、睡眠薬・抗うつ薬・降圧薬の服用、eGFR、入床時刻、身体活動量、室温】 |