

噪声暴露与心血管系统疾病的相关性研究

达文艳¹ 李星辉² 通讯作者

1. 甘肃中医药大学第一临床医学院

2. 甘肃省人民医院

DOI:10.32629/bmtr.v8i2.18894

[摘要] 噪声污染作为全球第二大环境健康风险因素，对心血管系统的潜在致病机制涉及多维度病理过程。本研究系统性整合噪声暴露与心血管疾病的流行病学关联，从职业噪声暴露的剂量-效应关系及多因素联合暴露的协同效应出发，深度解析神经内分泌失调、氧化应激、血管内皮功能紊乱及睡眠障碍等核心致病通路。尽管现有证据支持噪声作为心血管疾病独立危险因素假设，但其分子机制的系统性整合及暴露评估标准化仍需进一步探索。未来研究应聚焦噪声应激的表观遗传调控、单细胞水平的细胞谱系响应及智能监测技术的应用，以期噪声相关心血管疾病的精准预防与干预提供理论依据。

[关键词] 噪声暴露；心血管疾病；氧化应激；睡眠障碍；剂量-效应关系
中图分类号：R54 文献标识码：A

Research on the Correlation between Noise and Cardiovascular Diseases

Wenyang Da¹, Xinghui Li² Corresponding Author

1 First Clinical Medical College, Gansu University of Traditional Chinese Medicine

2 First Clinical Medical College, Lanzhou University

[Abstract] Noise pollution, the second leading environmental health risk factor on a global scale, involves a multitude of pathological processes in its potential pathogenic mechanisms, which have the capacity to affect the cardiovascular system. The present study systematically integrates the epidemiological associations between noise exposure and cardiovascular diseases, focusing on the dose-response relationship of occupational noise exposure and the synergistic effects of multi-factor combined exposure. The text under review here explores core pathogenic pathways, including but not limited to neuroendocrine dysfunction, oxidative stress, vascular endothelial dysfunction, and sleep disorders. Whilst extant evidence supports the hypothesis that noise is an independent risk factor for cardiovascular disease, further exploration is required with regard to the systematic integration of its molecular mechanisms and the standardisation of exposure assessment. Future research should concentrate on the epigenetic regulation of noise stress, cellular lineage responses at the single-cell level, and the application of intelligent monitoring technologies to provide theoretical foundations for precise prevention and intervention of noise-related cardiovascular diseases.

[Key words] Noise exposure; Cardiovascular disease; Oxidative stress; Sleep disorders; Dose-response relationship

引言

世界卫生组织 (WHO) 已将噪声污染列为继大气污染后的第二大环境健康风险因素，其健康危害不仅限于听觉系统，更广泛涉及心血管、代谢及神经等多个生理系统。基于 WHO 指南，人类噪声暴露的安全阈值设定为昼间等效声级 55 分贝 (dB)；当噪声暴露水平达到 80dB 时，长期暴露可能引发听力损伤，而超过 130 dB 的瞬时噪声会立即导致生理疼痛。典型噪声场景的声压级参考值如下：耳语约 15 dB，

正常对话约 60 dB，喷气发动机噪声接近 120 dB，国际标准将 85 dB 以上定义为具有潜在危害的噪声暴露水平^[1-2]。噪声性听力损失在职业性疾病谱中占据重要地位。以意大利为例，听觉减退在该国职业病报告中占据较高的发病率^[3]；中国职业健康监测亦表明，长期高强度噪声暴露不仅导致听力下降、生活质量受损，还显著增加工作场所事故风险^[4-5]。然而，噪声暴露对心血管系统的损害机制尤为复杂，当前研究在安全阈值界定、暴露-效应关联量化及个体敏感性差异等方面仍存

在关键问题，亟待通过跨学科研究整合证据并揭示分子机制。

1 流行病学证据：从多系统影响到职业健康风险

1.1 噪声暴露对多器官系统的病理效应

长期以来，噪声对人体健康的不良影响已渗透至多器官系统，成为亟待关注的公共卫生议题^[6-7]。消化系统首当其冲，噪声暴露会干扰胃肠蠕动和消化液分泌，导致胃肠功能紊乱，降低食物的消化效率，阻碍营养物质吸收，影响人体的营养状况。在免疫系统方面，噪声的急性暴露引发免疫细胞活性短暂抑制，慢性暴露则导致持续性免疫抑制，机制涉及固有免疫与获得性免疫动态平衡的破坏，且效应强度受声压级、暴露时长及遗传背景影响^[8]。流行病学研究显示，高噪声暴露与类风湿性关节炎、系统性红斑狼疮等自身免疫性疾病风险升高显著相关 (HR 1.03; 95% CI: 1.01-1.05)^[9]。神经系统作为核心靶点，长期噪声暴露可导致多巴胺能、5-羟色胺能神经递质系统失衡，诱发神经元电活动异常，表现为头痛、眩晕及记忆功能障碍，可能加速神经退行性病变更进。在心血管系统，噪声致病机制遵循 Babisch 提出的双途径模型：听觉介导的直接损伤与非听觉介导的间接效应（如睡眠干扰、情绪应激等）。大规模荟萃分析证实，心血管疾病发病率与噪声暴露水平呈明确剂量-反应关系，低强度噪声通过自主神经功能紊乱（交感神经激活、心率变异性下降等）破坏血压昼夜节律，长期暴露导致高血压及动脉粥样硬化风险升高^[10-14]。

1.2 职业噪声暴露的剂量-效应关系与人群差异

职业流行病学研究表明，生产性噪声暴露与听力损伤及心血管损害呈显著正相关。纵向队列数据表明，职业噪声接触人群的听力功能障碍发生率随暴露年限延长呈显著上升趋势^[15-18]。多变量回归分析显示，年龄、累积噪声暴露剂量及声压级强度的协同作用可加剧听觉系统损伤，且相关性具有统计学显著性^[19-20]。国内多项横断面研究聚焦噪声对作业人员血压的影响，发现在不同性别、年龄、工种及噪声暴露水平的作业人群中，血压异常率表现出显著差异^[21]。如陈哲玮等人针对某市噪声作业人群的调查显示，男性作业人员的听力减退、心电图异常及高血压检出率均显著高于女性^[22]。这一现象提示性别因素可能通过生理结构、激素水平及暴露特征差异对噪声损害产生调制作用。剂量-效应分析表明，噪声暴露时长与高频听力阈值偏移度、血压异常发生率呈梯度相关^[23-24]，交通运输、建筑施工等高强度噪声行业从业者的健康风险尤为突出。挂车制造业工龄分层研究显示，不同工龄组的心血管功能异常率差异显著^[25]，印证暴露时长与损害程度的相关性。年龄增长因降低生理储备能力，进一步加剧噪声对心血管系统的损害^[26]。妊娠期职业噪声暴露研究发现，其与子痫前期发病风险升高 (RR=1.07, 95% CI: 1.04-1.10) 及胎儿生长参数改变相关，提示噪声暴露的跨代健康影响需

引起关注^[27-28]。

1.3 多因素联合暴露的协同致病效应

职业环境中，噪声暴露常与其他物理、化学因素形成复合暴露，产生协同效应产生健康风险。蒋斌杰与徐紫菡团队的研究表明，噪声与高温环境的复合暴露可产生显著的心血管毒性的增强效应^[29-30]，其潜在机制可涉及高温诱导的血管扩张增强了循环系统对噪声刺激的敏感性，同时噪声暴露引发的自主神经功能紊乱进一步破坏心血管稳态调节。陈樱针对钢铁冶炼行业的队列研究发现，长期暴露于高温-噪声复合环境的作业人员，心血管功能异常发生率显著高于单一因素暴露群体^[31]，此类协同效应在重工业场景中尤为突出，提示职业健康风险评估需充分考虑多因素联合暴露的叠加影响。在行为因素交互作用方面，吸烟与长期噪声共暴露显著提升听力损失风险即暴露年限 ≥ 20 年且吸烟量 ≥ 25 包年时，风险比 (OR) 达 2.41 (95% CI: 1.78-3.28)，男性及老年人群风险更高^[32]。噪声与低浓度一氧化碳 (CO) 联合暴露则通过抑制免疫功能、激活 P53 信号通路，加剧睾丸组织损伤及生殖功能损害^[33-34]。实验模型显示，噪声与 PM2.5 的协同作用可放大氧化-炎症级联反应，导致代谢性疾病、心血管疾病及神经退行性疾病风险升高^[35-37]，凸显多污染物暴露的系统性危害。

2 噪声致心血管损害的病理机制探究

2.1 分子与细胞水平的核心致病通路

噪声暴露通过氧化应激、炎症反应及血管内皮功能调控异常介导心血管损害。氧化应激层面，噪声诱导活性氧 (ROS) 过量生成，破坏抗氧化平衡：Zhang 等在噪声暴露的鲟鱼模型中发现，肝脏组织 588 个基因差异表达，涉及 DNA 修复、细胞凋亡及脂质代谢通路扰乱^[38]；哺乳动物研究显示，噪声触发白细胞氧化爆发，升高 DNA 氧化损伤标志物 (8-氧鸟嘌呤) 并上调 NADPH 氧化 (NOX-2)，加剧血管内皮细胞损伤^[39]。神经内分泌失调是关键致病路径：急性暴露激活交感-肾上腺髓质系统 (SAM) 与下丘脑-垂体-肾上腺轴 (HPA)，导致儿茶酚胺与皮质醇过量释放；慢性暴露持续激活肾素-血管紧张素-醛固酮系统 (RAAS)，升高血管紧张素 II 水平，诱导血管平滑肌收缩及血压稳态破坏^[40]。最新研究揭示，噪声暴露通过肠道菌群-代谢轴诱发糖脂代谢紊乱，激活肝脏糖异生与脂质合成通路，进而引发炎症因子释放与氧化应激增强，形成“代谢-炎症”恶性循环^[41]。血管内皮功能紊乱作为核心环节，表现为内皮素 (ET) 介导的血管收缩增强与一氧化氮 (NO) 介导的舒张功能减弱，导致外周阻力升高及动脉粥样硬化病理基础形成。

2.2 睡眠障碍介导的心血管效应放大机制

噪声暴露通过干扰睡眠结构与节律加剧心血管损害。夜

间噪声激活边缘系统警觉通路, 升高人体皮质醇水平, 破坏睡眠启动与维持过程。Nox2 敲除小鼠模型显示, 睡眠期噪声暴露诱导的血管病理表型(如内皮功能异常)显著强于清醒期, 提示睡眠结构破坏的关键作用, 过程伴随脑区神经元过度激活、神经炎症反应及氧化应激增强, 通过心脑轴协同损伤心血管系统^[42]。流行病学证据显示, 睡眠期噪声暴露与高血压患病率正相关, 机制包括: 睡眠周期中断导致深睡眠时长减少、自主神经功能紊乱(交感神经过度激活); 慢性睡眠剥夺诱发 HPA 轴亢进, 破坏血压昼夜节律(杓型血压消失); 噪声暴露增加睡眠呼吸暂停综合征(SAS)风险, 其引发的反复缺氧-复氧过程进一步加重心肌缺血与氧化应激^[43-46]。这些机制交织形成“噪声-睡眠障碍-神经内分泌紊乱-血管损伤”病理网络, 且睡眠期暴露的累积效应随年限延长显著增强, 凸显夜间噪声控制的重要性。

3 总结与展望

本综述系统揭示噪声暴露与心血管疾病的多维度关联, 涵盖流行病学证据、剂量-效应关系及分子病理机制。当前研究已出现智能设备监测、单细胞测序等技术革新, 在暴露评估与机制探索方面取得进展, 但仍存在关键挑战如噪声暴露评估方法的标准化不足, 不同研究结果可比性受限^[47-48]。氧化应激、炎症反应与血管损伤的交互机制及个体敏感性差异的分子基础尚未明确, 未来研究需进一步阐明噪声-睡眠-代谢轴的交互调控机制, 识别关键干预靶点。上述研究将为未来噪声污染防控及职业健康管理提供理论支撑, 推动环境-健康协同治理的科学实践。

作者贡献声明:

达文艳: 负责提出论文的构思、整体轮廓、内容设计、收集资料、论文起草与撰写, 对论文负责;

李星辉: 负责论文最终版本的修改及监督管理, 对论文负责。

利益冲突声明: 本文无利益冲突。

[参考文献]:

[1] Daiber A, Kröller-Schön S, Frenis K, et al. Environmental noise induces the release of stress hormones and inflammatory signaling molecules leading to oxidative stress and vascular dysfunction—Signatures of the internal exposome[J]. *Biofactors*. 2019;45(4):495–506.

[2] Golbidi S, Li H, Laher I. Oxidative Stress: A Unifying Mechanism for Cell Damage Induced by Noise, (Water-Pipe) Smoking, and Emotional Stress—Therapeutic Strategies Targeting Redox Imbalance[J]. *Antioxid Redox Signal*. 2018;28(9):741–759.

[3] Ossicini A, Mortara V, Goggiamani A. Evoluzione

Legislativa della patologia da rumore: denunce ai fini assicurativi e preventivi a 20 anni dal D.Lgs 277/1991[J]. *G Ital Med Lav Ergon* 2011; 33:88–9.

[4] Maschke C. Cardiovascular effects of environmental noise: Research in Germany. *Noise Health* 2011; 13:205–11.

[5] Stansfeld S, Crombie R. Cardiovascular effects of environmental noise: research in the United Kingdom. *Noise Health* 2011; 13(52):229–33.

[6] 谢子煌, 陈卫红. 印刷行业职业病危害因素及其健康影响[J]. *职业卫生与应急救援*, 2017, 35(6):530–532+563.

[7] 周静东, 张晋蔚, 周浩, 等. 广州市汽车制造企业男性电焊作业工人健康状况调查[J]. *职业卫生与应急救援*, 2017, 35(3):227–230.

[8] Zhang A, Zou T, Guo D, et al. The Immune System Can Hear Noise[J]. *Front Immunol*. 2021;11:619189.

[9] Lee S, Lee Y, Lee W, et al. Environmental noise exposure and autoimmune diseases: Evidence from a national cohort study[J]. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2025;289:117674.

[10] Sivakumaran K, Ritonja JA, Waseem H, et al. Impact of Noise Exposure on Risk of Developing Stress-Related Health Effects Related to the Cardiovascular System: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *Noise Health*. 2022;24(114):107–129.

[11] 周鹏飞, 张舒, 石菲, 等. 高血压与听力损失相互作用机制的研究进展[J]. *心脏杂志*, 2024, 36(6):681–685.

[12] 胡凤霞, 宋彬, 易成, 等. 噪声对工人听力损失、血压、血糖和血脂的影响[J]. *工业卫生与职业病*, 2023, 49(4):342–345.

[13] Li W, Zhang H, Xiao Y, Tao Y, Chen W, Wang D. Association between occupational noise exposure duration and heart rate variability among Chinese adults: The role of plasma miRNAs[J]. *Environ Pollut*. 2023;323:121324.

[14] 樊树利, 赵慧, 王剑伟, 等. 职业性噪声接触作业工人心血管及血脂异常的分析[J]. *工业卫生与职业病*, 2023, 49(6):522–526.

[15] 庞振军, 陆爱舟. 企业生产性噪声对作业工人听力与心血管系统影响的分析[J]. *上海医药*, 2019, 40(18):57–59.

[16] 赵文静, 邹朝双. 职业性噪声对作业人员听力和心血管系统影响[J]. *职业卫生与应急救援*, 2018, 36(3):227–229.

[17] 汪琳, 王春芳, 张庆玲. 噪声对工人听力损伤和其他健康影响的调查[J]. *工业卫生与职业病*, 2018, 44(3):195–197.

[18] 周军, 郝晓凤, 李新刚. 噪声对纺织工人健康影响调查[J]. *中国城乡企业卫生*, 2018, 33(9):81–82.

[19] 蔡芳芳, 李俊, 严琨, 等. 噪声对心血管系统相关指标影

响的分析[J].贵阳中医学院学报,2017,39(6):60-63.

[20]覃剑丁,陈晓华,李妍,等.柳州市某钢铁企业噪声对作业工人健康损害的情况分析[J].职业与健康,2022,38(7):879-882+887.

[21]钟松更,刘常林,郑艳芳.8713名噪声作业人员职业健康检查结果分析[J].中国卫生工程学,2023,22(6):766-769+771.

[22]陈哲玮,丰薇薇.2019年肇庆市噪声作业工人听觉系统和心血管系统异常情况分析[J].中国社区医师,2023,39(24):152-154.

[23]李秀婷,赵亮亮,董秋,等.南京市噪声作业人群职业健康检查结果分析[J].中国预防医学杂志,2019,20(4):285-289.

[24]王森,刘涛,曾强.职业性噪声对工人心血管系统影响研究进展[J].中国职业医学,2022,49(6):707-711.

[25]周晓,薛鹏程.挂车制造行业噪声对作业工人听力和心血管系统影响调查[J].应用预防医学,2021,27(5):439-441.

[26]李庆猛,朱安宁.2017年蚌埠市噪声作业工人职业健康检查结果分析[J].工业卫生与职业病,2020,46(2):148-149.

[27]Wang Z, Qian R, Xiang W, et al. Association between noise exposure during pregnancy and pregnancy complications: A meta-analysis[J]. *Front Psychol.* 2022;13:1026996. Published 2022 Nov 21.

[28]Graafland N, Essers E, Posthumus A, et al. Exposure to outdoor residential noise during pregnancy, embryonic size, fetal growth, and birth outcomes[J]. *Environ Int.* 2023;171:107730.

[29]蒋斌杰,朱素娟.噪声与高温联合作用对劳动者心血管系统的影响[J].职业卫生与病伤,2022,37(4):199-201+207.

[30]徐紫菡,戴冬梅,高娇娇,等.职业噪声和高温对心血管系统的影响[J].中华疾病控制杂志,2020,24(7):773-778.

[31]陈樱,马建郭,郭军红,等.安阳某炼钢厂高温与噪声混合作业人员血压及心电图检测结果分析[J].中国卫生工程,2022,21(2):194-197.

[32]Wang D, Wang Z, Zhou M, et al. The combined effect of cigarette smoking and occupational noise exposure on hearing loss: evidence from the Dongfeng-Tongji Cohort Study[J]. *Sci Rep.* 2017;7(1):11142. Published 2017 Sep 11.

[33]She X, Gao X, Wang K, et al. Effects of noise and low-concentration carbon monoxide exposure on rat immunity[J]. *J Occup Health.* 2021;63(1):e12235. 5

[34]Li Y, Zhang Z, Wang J, et al. Effects and possible mechanisms of combined exposure to noise and carbon monoxide on male reproductive system in rats[J]. *Environ Toxicol.* 2023;38(12):2926-2938.

[35]Sørensen M, Poulsen AH, Nøhr B, et al. Long term exposure to road traffic noise and air pollution and risk of infertility in men and women: nationwide Danish cohort study[J]. *BMJ.* 2024;386:e080664. Published 2024 Sep 4.

[36]Tang JH, Jian HL, Chan TC. The impact of co-exposure to air and noise pollution on the incidence of metabolic syndrome from a health checkup cohort[J]. *Sci Rep.* 2024;14(1):8841. Published 2024 Apr 17.

[37]Hurtado CV, Dongil P, Pérez GA, Álvarez E, Sanz C. Preventing Oxidative Stress in the Liver: An Opportunity for GLP-1 and/or PASK[J]. *Antioxidants (Basel).* 2021;10(12):2028.

[38]Zhang Y, Liu C, Liu J, et al. Multi-omics reveals response mechanism of liver metabolism of hybrid sturgeon under ship noise stress[J]. *Sci Total Environ.* 2022;851(Pt 2):158348.

[39]Kvandrova M, Filippou K, Steven S, et al. Environmental aircraft noise aggravates oxidative DNA damage, granulocyte oxidative burst and nitrate resistance in O_{gg1}^{-/-} mice[J]. *Free Radic Res.* 2020;54(4):280-292.

[40]Daiber A, Frenis K, Kuntic M, et al. Redox Regulatory Changes of Circadian Rhythm by the Environmental Risk Factors Traffic Noise and Air Pollution[J]. *Antioxid Redox Signal.* 2022;37(10-12):679-703.

[41]Wu S, Du W, Wu Z, et al. Effect of chronic noise exposure on glucose and lipid metabolism in mice via modulating gut microbiota and regulating CREB/CRTC2 and SREBP1/SCD pathway[J]. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2024;270:115887.

[42]Kröllner-Schön S, Daiber A, Steven S, et al. Crucial role for Nox2 and sleep deprivation in aircraft noise-induced vascular and cerebral oxidative stress, inflammation, and gene regulation[J]. *Eur Heart J.* 2018;39(38):3528-3539.

[43]Argacha JF, Mizukami T, Bourdrel T, Bind MA. Ecology of the cardiovascular system: Part II - A focus on non-air related pollutants[J]. *Trends Cardiovasc Med.* 2019;29(5):274-282.

[44]张远凤,叶清林,蒋晓江.噪声污染环境下失眠患者的临床睡眠及心理特征变化[C]//中国睡眠研究会.中国睡眠研究会第十五届全国学术年会汇编.陆军军医大学大坪医院;重庆西区医院.;2023:474.

[45]吴静涵,董恺奕,郭立哲,等.老年人群睡眠障碍与心血

管健康关系的研究进展[J].中南医学科学杂志,2022,50(1):137-140.

[46]Cho S, Park WJ, Ahn JS, Lim DY, Kim SH, Moon JD. Obstructive sleep apnea risk and hearing impairment among occupational noise-exposed male workers[J]. Arch Environ Occup Health. 2023;78(2):108-117.

[47]Bartoskova Polcova A, Dalecka A, Szabo D, et al.Social and environmental stressors of cardiometabolic

health[J]. Sci Rep. 2024;14(1):14179. Published 2024 Jun 19.

[48]潘乐,汪翔,龚惠.单细胞测序在心血管系统中的应用[J].心血管病学进展,2020,41(12):1227-1230+1267.

作者简介：

达文艳（1999.07-），女，汉族，甘肃武威，本科学历，研究方向：心血管内科。

基金项目：

甘肃省自然科学基金项目（25JRRA289）。