http://www.biomedrxiv.org.cn/article/doi/10.12201/bmr.202604.00103
此预印本（未经同行评审）的作者拥有该文稿的版权，biomedRxiv拥有永久保存权。任何人未经允许不得重复使用。

CMI与阻塞性睡眠呼吸暂停综合征关系的研究进展

汪文炳[1]，巢娅妮[1]，王芳[1]，杨全福[2]

1.甘肃中医药大学第一临床医学院，甘肃 兰州 730000；2.天水市第一人民医院呼吸与危重症医学科，甘肃 天水 741000

【摘要】阻塞性睡眠呼吸暂停综合征（obstructive sleep apnea hypopnea syndrome, OSAHS）是推动多种心血管代谢疾病（cardiometabolic diseases, CMDs）发展的重要因素。鉴于OSAHS与高血压、糖尿病等CMDs间的复杂关联，开发全面评估代谢健康与心血管风险的生物标志物尤为重要。心脏代谢指数（cardiometabolic index, CMI）整合甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇和腰高比等参数，为代谢风险提供更敏感、全面的评估工具。该文主要就CMI构成、OSAHS的病理生理机制、并发症以及二者之间的联系进行综述，以期为OSAHS的早期识别、精准干预和预后改善提供新的视角和理论依据。

【关键词】心脏代谢指数；阻塞性睡眠呼吸暂停综合征；并发症；研究进展

[中图分类号] R445.1

10.12201/bmr.202604.00103V1

阻塞性睡眠呼吸暂停综合征（obstructive sleep apnea hypopnea syndrome, OSAHS）是一种常见的睡眠呼吸障碍，以睡眠期间反复发作的上气道塌陷、呼吸暂停和低通气为特征，导致间歇性低氧血症、高碳酸血症、睡眠结构紊乱和胸腔内压波动，进而引发一系列全身性病理生理改变[1]。OSAHS不仅严重影响患者的生活质量，更与多种心血管代谢性疾病（cardiometabolic diseases, CMDs）密切相关，包括高血压、冠心病、糖尿病、血脂异常和代谢综合征等，显著增加患者心血管不良事件风险及远期发病率和死亡率Error: Reference source not foundError: Reference source not found。鉴于OSAHS在全球范围内的日益高发及其带来的巨大公共卫生负担，对其早期识别、风险评估及并发症管理显得尤为重要Error: Reference source not found。心脏代谢指数（cardiometabolic index, CMI）作为一种综合性指标，因其能够整合血脂、血糖和体型指标，全面反映个体的整体心脏代谢健康状况而受到广泛关注；其通常基于甘油三酯（triglycerides, TG）、高密度脂蛋白胆固醇（high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C）和腰高比（waist-to-height ratio, WHtR）等易于获取的临床参数计算得出，被认为在预测多种代谢性疾病和心血管事件方面具有独特的优势[4]Error: Reference source not found。随着研究的深入，越来越多的证据表明CMI不仅与心血管代谢性疾病直接相关，而且在OSAHS的发生发展、风险评估及其并发症中发挥重要作用Error: Reference source not foundError: Reference source not found。

1 CMI的定义、生理学基础

CMI是评估个体代谢健康状况和心血管疾病风险的复合生物标志物。通过结合血脂谱中的TG和HDL-C以及体型指标中的WHtR来计算，其典型计算公式为（TG/HDL-C）×WHtR，TG / HDL-C是胰岛素抵抗和动脉粥样硬化的替代指标，WHtR比身体质量指数更能准确反映内脏脂肪堆积，而内脏脂肪过量与慢性炎症、代谢病密切相关；这就从脂质代谢异常和中心性肥胖两个维度评估心脏代谢风险，反映机体脂肪分布、胰岛素抵抗等代谢紊乱状态[8]。有研究在对1912名肥胖成年患者的研究中发现，CMI在预测代谢综合征（metabolic syndrome, MetS）方面效能与脂质蓄积指数相近（AUC均为0.82），且显著优于身体脂肪指数(指体脂率，即人体脂肪组织占总体体重的百分比)，表明CMI在识别MetS方面具有良好的效能[9]。这种多参数的整合方法，使得CMI在评估复杂的心脏代谢健康状况时，优于单一指标。

通信作者：杨全福，电子信箱：625348750@qq.com

http://www.biomedrxiv.org.cn/article/doi/10.12201/bmr.202604.00103
此预印本（未经同行评审）的作者拥有该文稿的版权，biomedRxiv拥有永久保存权。任何人未经允许不得重复使用。

CMI 的生理学基础根植于 MetS 的核心特征。MetS 是一组代谢危险因素的集合，包括中心性肥胖、高血压、高血糖、高 TG 和低 HDL-C，这些因素显著增加了心血管疾病和 2 型糖尿病的风险。CMI 的组成成分恰好涵盖了 MetS 的关键要素，特别是脂质异常和腹部脂肪堆积。高 TG 水平通常与富含 TG 的脂蛋白（如极低密度脂蛋白）增加有关，而低 HDL-C 则反映了胆固醇逆向转运的效率下降，两者共同提示脂质代谢紊乱。腰高比作为中心性肥胖的指标，与内脏脂肪的堆积密切相关，而内脏脂肪被认为是胰岛素抵抗和系统性炎症的重要来源。有研究提出的“碳水化合物-胰岛素模型”为理解肥胖和代谢紊乱提供了另一种视角，该模型认为过量脂肪储存而非过量饮食是体重增加的驱动因素，高加工碳水化合物摄入会改变底物分配，导致饥饿感增加和代谢率降低[10]。降低胰岛素分泌，特别是通过减少加工碳水化合物摄入，可以改善长期体重管理和慢性疾病预防。这一理论为 CMI 中血脂和肥胖指标的生理学意义提供了更深层次的解释，即这些指标的变化可能反映了碳水化合物摄入对代谢底物分配的影响，进而影响脂肪储存和胰岛素敏感性。

2 OSAHS 的病理生理机制及其并发症

2.1 OSAHS 的病理生理学基础与炎症反应

OSAHS 的核心病理生理机制主要包括三方面：一是间歇性低氧血症，激活缺氧诱导因子-1α 等信号通路，诱导炎症介质释放和氧化应激[11]；二是睡眠片段化，引发神经内分泌调节紊乱，加剧交感神经激活和皮质醇升高[12]；三是胸腔内压波动，增加心脏后负荷，影响心功能[13]。这些改变共同导致患者出现全身性炎症状态，OSAHS 患者外周血中性粒细胞、降钙素原等炎症标志物水平升高，且间歇性低氧血症和睡眠片段化会诱导免疫失调，其免疫学改变在 OSAHS 相关并发症中发挥关键作用；同时，OSAHS 还会影响颈动脉体大小，这可能是其并发高血压的机制之一 Error: Reference source not found[15]。

2.2 OSAHS 与心血管代谢性并发症

OSAHS 是涉及多系统的复杂综合征，与多种心血管代谢并发症密切相关：间歇性低氧血症和睡眠片段化不仅是高血压的重要诱因，而且也是继发性高血压的常见原因；重度 OSAHS 患者常伴血脂代谢紊乱，表现为 TG 升高、高密度脂蛋白降低，且 TG、胆固醇和低密度脂蛋白水平与 BMI 相关[3]；间歇性低氧血症和睡眠片段化还会降低胰岛素敏感性，增加糖尿病和胰岛素抵抗风险 Error: Reference source not found；并通过高血压、炎症反应等多种途径促进动脉粥样硬化，升高冠心病和卒中风险 Error: Reference source not found。此外，OSAHS 患者代谢综合征患病率显著高于普通人群，还与认知功能障碍、非酒精性脂肪肝病等多种系统性疾病相关[17]。李涵等人[18]构建的重度 OSAHS 临床风险预测模型显示，年龄、吸烟史、低密度脂蛋白胆固醇、尿酸和合并症个数是重度 OSAHS 的独立危险因素，这进一步凸显了 OSAHS 并发症的广泛性和复杂性。

3 CMI 与 OSAHS 关系

3.1 CMI 作为 OSAHS 筛查和预测指标的价值

CMI 与 OSAHS 发生风险密切相关，具有作为早期筛查和预测工具的潜力。阻塞性睡眠呼吸暂停（obstructive sleep apnea, OSA）患者的 CMI 水平显著高于非 OSA 组，且与 OSA 发生风险相关[19]；基于 NHANES 数据的研究显示，OSAHS 风险随 CMI 升高呈线性上升趋势（*OR*=1.014, *P*=0.024），最高 CMI 四分位数中关联性最强（*OR*=1.272, *P*<0.001），且 CMI 在 2.03 内预测效能更佳[7]。同时，CMI 筛查 OSAHS 和 OSAHS 合并代谢综合征的 AUC 分别为 0.808 和 0.797，判别能力优于脂质蓄积指数，且高 CMI 与睡眠障碍风险增加 1.11 倍相关 Error: Reference source not found 。

10.12201/bmr.202604.00103V1

http://www.biomedrxiv.org.cn/article/doi/10.12201/bmr.202604.00103
此预印本（未经同行评审）的作者拥有该文稿的版权，biomedRxiv拥有永久保存权。任何人未经允许不得重复使用。

10.12201/bmr.202604.00103V1

3.2 CMI 与 OSAHS 共病及并发症的关联

CMI 在评估 OSAHS 心血管代谢共病风险中具有独特优势。有关 CMI 与高血压合并 OSAHS 患者心血管疾病风险的关系的纵向队列研究发现，在中位随访 6.83 年后，CMI 水平与新发心血管疾病、冠心病和卒中风险呈正相关（调整后 HRs 分别为 1.31、1.33、1.27）[8]。更重要的是，将 CMI 纳入基线风险模型后，模型的 C 指数、净再分类改善和综合判别指数均得到改善，表明 CMI 能够有效提升对高血压合并 OSAHS 患者心血管疾病风险的预测能力，有助于识别高危个体[9]。另有研究则发现，CMI 等复合脂质指数在 OSAHS 患者不同 Baveno（一种评估肝脏疾病严重程度的分类系统，与心血管风险相关）分组间存在显著差异，可更好地对患者心血管风险进行分层[22]。

3.3 影响 CMI 与 OSAHS 关系的潜在机制与调节因素

CMI 与 OSAHS 之间的关联并非单一直接，而是受到多种潜在机制和调节因素的影响。①糖尿病的介导作用：CMI 与 OSAHS 风险呈正相关，且糖尿病在 CMI 与 OSAHS 的关联中发挥了 35.7%的介导作用[23]。这表明 CMI 通过影响糖尿病的发生发展，进而间接影响 OSAHS 的风险。这种介导作用在男性、无心血管疾病史、有中度至重度抑郁症状和肥胖个体中更为显著，提示了糖尿病在连接心脏代谢紊乱与睡眠呼吸障碍中的关键角色。②吸烟的调节作用：有研究发现吸烟状态与这种关联存在显著的交互作用，并通过介导分析确认吸烟是 CMI 与 OSAHS 关联的介质之一，介导效应量为 0.002115[Error: Reference source not found]。这间接说明吸烟可能通过加剧心脏代谢紊乱或直接影响气道结构和功能，从而调节 CMI 与 OSAHS 之间的关系。③炎症和氧化应激：如前所述，OSAHS 通过间歇性低氧和睡眠片段化诱导全身性炎症和氧化应激[1][Error: Reference source not found]。而 CMI 所反映的代谢紊乱，如中心性肥胖和血脂异常，本身也是慢性炎症和氧化应激的驱动因素。因此，炎症和氧化应激可能作为共同的病理生理通路，介导 CMI 与 OSAHS 之间的相互作用。④内皮功能障碍： CMI 反映的胰岛素抵抗和血脂异常，以及 OSAHS 导致的间歇性低氧，均可引起血管内皮功能障碍；内皮功能障碍是动脉粥样硬化和心血管疾病发生发展的关键环节，在 CMI 与 OSAHS 及其心血管并发症的联系中发挥桥梁作用[1]。CMI 与 OSAHS 之间复杂的相互作用网络，为未来的干预策略提供了新思路，可针对糖尿病和吸烟等可干预因素进行管理，这将有助于打破 CMI 与 OSAHS 之间的恶性循环，改善患者的整体健康状况。

4 小结

CMI 作为整合血脂与体型指标的复合生物标志物与 OSAHS 发病风险呈显著正相关，且其筛查效能优于部分传统指标，具备成为 OSAHS 早期筛查工具的潜力。目前，CMI 与 OSAHS 的研究主要集中于二者的关联和预测价值，且研究方法多是横断面性质，缺乏评估基于 CMI 的干预措施（如生活方式干预、药物治疗）对 OSAHS 发生发展或其并发症影响的随机对照试验。随着研究的不断深入，尽管有研究从炎症和免疫失调角度探讨了 OSAHS 的病理生理机制，但 CMI 与 OSAHS 之间更深层次的分子生物学机制仍需进一步阐明，例如，CMI 所反映的代谢紊乱如何精确地影响上气道神经肌肉控制、脂肪沉积以及炎症反应。此外，有关

http://www.biomedrxiv.org.cn/article/doi/10.12201/bmr.202604.00103
此预印本（未经同行评审）的作者拥有该文稿的版权，biomedRxiv拥有永久保存权。任何人未经允许不得重复使用。

CMI 在不同亚型 OSAHS 患者（如不同肥胖程度、不同年龄、不同种族）中的预测效能以及与其他新型生物标志物或影像学指标进行联合评估 OSAHS 患者的研究尚处于探索阶段，未来应进一步展开研究，以期开发更精准的风险预测模型。最后，应将 CMI 整合到临床实践指南中，作为 OSAHS 高危人群筛查和心血管代谢风险评估的常规工具，并开展相关的成本效益分析，这将有助于提升 OSAHS 的早期识别率和管理水平，从而改善患者的整体健康结局，为更高效率的医疗管理助力。

参考文献

[1] DONG N, YUE H. Advances in immunology of obstructive sleep apnea: Mechanistic insights, clinical impact, and therapeutic perspectives[J]. Frontiers in Immunology, 2025, 16(1654450): 1654450.

[2] HARSAS N A, AMANDA R Z, PURWOWIYOTO S L, et al. Coexistence of obstructive sleep apnea and cardiovascular disease: A narrative review[J]. Current Medical Issues, 2023, 21(1): 62-67.

[3] BAJPAI J, PRADHAN A, BAJAJ D, et al. Prevalence of dyslipidaemia in OSA patients at a tertiary care center[J]. Am J Cardiovasc Dis, 2023, 13(1): 1-9.

[4] BORSOI L, ARMENI P, DONIN G, et al. The invisible costs of obstructive sleep apnea (OSA): Systematic review and cost-of-illness analysis[J]. PLOS ONE, 2022, 17(5): e0268677.

[5] 孙彤. 一般人群中心脏代谢指数预测心血管疾病的有效性: 基于 2007—2018 年 NHANES 数据的横断面研究[J]. 中国心血管杂志, 2025, 30(3): 299-305.

[6] ZHUO L, LAI M, WAN L, et al. Cardiometabolic index and the risk of new-onset chronic diseases: Results of a national prospective longitudinal study[J]. Frontiers in Endocrinology, 2024, 15: 1446276.

[7] CHEN X, ZHANG Y, WANG Y, et al. The cardiometabolic index (CMI) is associated with an increased risk of obstructive sleep apnea: A population-based study[J]. European Journal of Medical Research, 2025, 31(1): 127.

[8] CAI X, HU J, WEN W, et al. Associations of the cardiometabolic index with the risk of cardiovascular disease in patients with hypertension and obstructive sleep apnea: Results of a longitudinal cohort study[J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2022, 2022(1): 4914791.

[9] TAMINI S, BONDESAN A, CAROLI D, et al. The lipid accumulation product index (LAP) and the cardiometabolic index (CMI) are useful for predicting the presence and severity of metabolic syndrome in adult patients with obesity[J]. Journal of Clinical Medicine, 2024, 13(10): 2843.

[10] LUDWIG D S. Fuel partitioning and the carbohydrate-insulin model of obesity[J]. Obesity Facts, 2025, 18(suppl 1): 1-656.

[11] GARBARINO S, LANTERI P, BRAGAZZI NL, et al. Role of sleep deprivation in immune-related disease risk and outcomes[J]. Commun Biol. 2021; 4(1): 1304.

[12] UNNIKRISHNAN D, JUN J, POLOTSKY V. Inflammation in sleep apnea: An update[J]. Rev Endocr Metab Disord. 2015;16(1):25-34.

10.12201/bmr.202604.00103V1

http://www.biomedrxiv.org.cn/article/doi/10.12201/bmr.202604.00103
此预印本（未经同行评审）的作者拥有该文稿的版权，biomedRxiv拥有永久保存权。任何人未经允许不得重复使用。

[13] 何权瀛. 再论阻塞性睡眠呼吸暂停与慢性咳嗽的关系[J]. 中国呼吸与危重监护杂志, 2018, 17(2): 109-112.

[14] 周雅利, 王愿, 施心怡. 阻塞性睡眠呼吸暂停综合征患者外周血炎症标志物的变化[J]. 医学研究与战创伤救治, 2025, 38(10): 1072-1076.

[15] 寇秀娟, 石文媛, 韩德民, 等. 阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征对颈动脉体的影响[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2025, 32(12): 778-781.

[16] WANG D, CHEN Y, DING Y, et al. Application value of cardiometabolic index for the screening of obstructive sleep apnea with or without metabolic syndrome[J]. Nature and Science of Sleep, 2024, Volume 16: 177-191.

[17] 万贻麟, 石雪峰. 基于多系统的阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征代谢组学研究进展[J]. 中国医学前沿杂志(电子版), 2026, (02): 1-9.

[18] 李涵, 陈欣然, 马兰. 重度阻塞性睡眠呼吸暂停综合征临床风险预测模型的构建和验证[J]. 安徽医学, 2025, 46(02): 154.

[19] 温雯, 张凯楠, 陈玉岚, 等. 代谢指数作为预测因子与阻塞性睡眠呼吸暂停的相关性分析[J]. 中国全科医学杂志, 2023, 26(30): 3740.

[20] XU Z, QIAN X, XU J. The cardiometabolic index as a predictor of sleep disorders and mortality: A cross-sectional study[J]. Medicine, 2025, 104(14): e42029.

[21] 王冬皓. 心脏代谢指数在筛查 OSAHS 和 OSAHS 合并代谢综合征中的应用价值[D]. 广州: 广州医科大学, 2023.

[22] XIAO Y, ZHU X. Associations of metabolic heterogeneity of obesity, cardiometabolic index with sleep trajectory among middle-aged and older adults: A longitudinal study[J]. BMC Public Health, 2025, 25(1): 1-11.

[23] ZHANG Y, MIAO C, GAO X. The mediating role of diabetes between cardiac metabolic indices and obstructive sleep apnea: A cross-sectional study from the NHANES database[J]. Sleep Science and Practice, 2025, 9(1): 9:38.

[24] ZHOU Y, YU J, TAN H, et al. Association between cardiometabolic Index and obstructive sleep apnea and the mediating role of smoking: A cross-sectional study[J]. Frontiers in Endocrinology, 2025, 16: 1609585.

[25] 李孟如, 朱雪艳, 季磊, 等. 阻塞性睡眠呼吸暂停患者血清血管内皮生长因子、血管内皮钙粘蛋白水平及临床价值[J]. 中国呼吸与危重监护杂志, 2025, 24(09): 646-652.

[26] 沈佳妮, 苏梅, 孙博, 等. OSA 患者低氧事件诱发的血压变异性与血管内皮功能的相关性研究[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2024, 44(04): 511-516.

10.12201/bmr.202604.00103V1