· 环境与职业卫生 ·

煤矿职业人群中预估葡萄糖处置率与代谢综合征的关联性研究

张泽远[1],易世婷[1],戴颖诗[1],王芊[1],林思彤[1],赵宏霞[2],
庞琳荟[2],聂继盛[3],叶小华[1],陈颖君[1]

1. 广东药科大学公共卫生学院流行病与卫生统计学系,广东 广州 510000;
2. 西山煤电(集团)有限责任公司职业病防治所;3. 山西医科大学公共卫生学院

摘要:目的 分析与评估煤矿工人群体中预估葡萄糖处置率(eGDR)与代谢综合征(MetS)的关联程度。**方法** 采用横断面研究设计,以 2023 年参与职业健康体检的 8 102 名煤矿集团职工作为研究对象。根据腰围、是否患高血压、糖化血红蛋白指标计算个体 eGDR 值,并根据《中国 2 型糖尿病防治指南(2020 版)》的标准定义 MetS。使用非条件 logistic 回归模型分析与限制性立方样条(RCS)模型探究 eGDR 与 MetS 的相关性与剂量 - 反应关系,并分析 eGDR 与职业因素对 MetS 的交互作用。**结果** 纳入职工的平均年龄为(48.7 ± 5.4)岁,其中 2 932 人检出 MetS,患病率为 36.1%。完全调整协变量后的非条件 logistic 回归分析显示:eGDR 每升高 1 个标准差(*SD* = 2.23),MetS 患病风险降至原先的 0.52,且高 eGDR 组的 MetS 患病风险显著低于低 eGDR 组(*OR* = 0.01),但尚未发现职业因素的显著交互作用。RCS 模型分析表明,eGDR 与 MetS 患病率存在非线性强负相关剂量 - 反应关系($P < 0.001$)。**结论** 在煤矿工人群体中 eGDR 与 Mets 存在显著关联,且呈非线性负相关剂量反应关系;暂未发现职业因素交互作用。

关键词:估计葡萄糖处置率;代谢综合征;横断面研究;煤矿工人;交互作用
中图分类号:R181.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1003 - 8507(2026)08 - 1392 - 07
DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202511026

A study on the association between estimated glucose disposal rate and metabolic syndrome in coal mining occupational populations

ZHANG Ze - yuan*, YI Shi - ting, DAI Ying - shi, WANG Qian, LIN Si - tong, ZHAO Hong - xia, PANG Lin - hui, NIE Ji - sheng, YE Xiao - hua, CHEN Ying - jun

* *Department of Epidemiology and Health Statistics, School of Public Health, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou, Guangdong* 510000, *China*

Abstract: Objective Analyzing and evaluating the association between estimated glucose disposal rate (eGDR) and metabolic syndrome (MetS) among coal miners. **Methods** A cross - sectional study design was employed, with 8 102 employees from coal mining groups who underwent occupational health examinations in 2023 serving as the study subjects. Individual eGDR values were calculated based on waist circumference, hypertension status, and glycated hemoglobin levels, with MetS defined according to the criteria outlined in the Chinese Guidelines for the Prevention and Treatment of Type 2 Diabetes (2020 Edition). Unconditional logistic regression models and restricted cubic spline (RCS) models were employed to investigate the association and dose - response relationship between eGDR and MetS, whilst also analyzing the interaction between eGDR and occupational factors on MetS. **Results** The mean age of enrolled employees was (48.7 ± 5.4) years, with 2 932 individuals diagnosed with MetS (prevalence: 36.1%). Fully adjusted unconditional logistic regression analysis revealed that each standard deviation increases in eGDR (*SD* = 2.23) reduced the risk of MetS to 0.52. The high eGDR group exhibited significantly lower MetS risk than the low eGDR group (*OR* = 0.01), with no significant evidence of occupational factor interaction. RCS modeling revealed a strong nonlinear negative dose - response relationship between eGDR and MetS prevalence ($P < 0.001$). **Conclusion** Among coal miners, eGDR exhibits a significant association with Mets, presenting a non - linear negative dose - response relationship, and no occupational factor interactions have been identified.

Keywords: Estimated glucose disposal rate; Metabolic syndrome; Cross - sectional study; Coal miners; Interaction

---

基金项目:广州市科技计划项目(2025A03J3722)
作者简介:张泽远(2000—),男,硕士在读,研究方向:流行病与卫生统计学
通信作者:叶小华与陈颖君为共同通信作者。叶小华,E - mail:smalltomato@163.com;陈颖君,E - mail:chenyingjun@gdpu.edu.cn

代谢综合征(Metabolic Syndrome, MetS)是一种由高血压(HTN)、向心性肥胖、葡萄糖代谢受损和血脂异常等多种心血管代谢危险因素协同作用所致的临床症候群[1-2]。近年来,中国 MetS 患病率持续上升,18 岁以上成人患者已增至约 2.3 亿,患病率从 2002 年的 9.5% 升至 2010—2012 年的 18.7%[3],带来沉重的健康负担,并显著增加慢性肾病(CKD)、心血管疾病(CVD)及早死风险,已成为我国重要的公共卫生问题[4-5]。

胰岛素抵抗(Insulin Resistance, IR)是 MetS 的核心病理机制,表现为胰岛素介导的葡萄糖摄取与利用效率下降,进而导致高血糖、高甘油三酯等代谢异常[6]。目前,高胰岛素 - 正常血糖钳夹技术是评估 IR 的金标准,但因其侵入性和高成本,难以在临床广泛应用[7]。作为替代指标,胰岛素 - 葡萄糖(TyG)指数简便、低成本,能反映 IR 及糖脂代谢紊乱[8],但在合并中心性肥胖或高血压时可能无法全面识别 IR[9-10]。

预估葡萄糖处置率(eGDR)是一项基于腰围(WC)、高血压状态和糖化血红蛋白 A1c(HbA1c)计算的新兴指标。多项研究证实其与 MetS 密切相关:Chen[11]等基于 NHANES 成人队列发现 eGDR 与 MetS 呈非线性关联,eGDR 降低显著增加 MetS 患病率,且预测效能优于 TyG 指数和 HOMA - IR;Xia[12]等进一步验证 eGDR 具有保护作用(OR = 0.48, 95% CI: 0.44 ~ 0.52);Zhang[13]等在中国中老年人群(CHARLS)中也报告 eGDR 对 MetS 的预测 AUC 达 0.71(95% CI: 0.69 ~ 0.73)。这些结果提示 eGDR 可作为一般人群 MetS 风险评估的有效工具。

然而,目前关于职业人群、尤其是煤矿工人的相关研究较少。煤矿工人长期暴露于高粉尘、高噪声、高压力及作息不规律的工作环境中[14],而职业性空气污染与噪声暴露已被证实显著增加 MetS 风险,使其成为 MetS 高危群体[15-16]。因此,本研究基于山西省太原市煤矿工人群体,旨在探讨 eGDR 与 MetS 患病率之间的关联,并评估其对 MetS 的预测效能,为该特殊职业人群的早期识别与干预提供科学依据。

1　对象与方法

1.1　对象　研究对象为 2023 年山西省太原市西山煤电集团煤矿行业工人。研究对象分别来自同一集团不同煤矿,于职业病防治所参加年度职业健康体检。从 25 597 名煤矿职工中排除伤退、退养 、问卷调查不完整、未完成人体测量或血液检查不完整者,最终 8 102 人纳入研究进行分析。本研究已通过广东药科大学附属第一医院伦理委员会批准,批件号:医伦审【2024】KT 第(98)号,且获得所有研究对象的知情同意。

1.2　*方法*

1.2.1　问卷调查　采用本课题组自行设计的《煤矿工人职业健康调查问卷》,收集研究对象的基本信息、日常生活行为方式、职业史和疾病史。调查者为经受专业培训的在读研究生,调查问卷经多位专家评审与修改,确保了问题的合理性与全面性。在开展正式调查之前,本研究通过预调查对问卷信度进行初步评估,Cronbach α 系数为 0.897,具有良好的信度。

1.2.2　体格检查与实验室检测　本研究采用标准化体格检查流程,由经过系统培训的医务人员进行各项检测工作。检测过程严格遵循国家规范,使用经校准的医用设备。主要检查项目为人体测量参数,具体包括:身高、体重、血压、腰围等。使用欧姆龙 HBP1300 型上臂式电子血压计对受检者进行血压测量。采用上禾科技 SH - 300G 医用超声波全自动电子身高体重测量仪器对受检者进行身高、体重与 BMI 的测量。使用无弹性软尺对受试者腰围与臀围进行测量,精确到 0.1 cm。采用欧姆龙 HBF - 371 型体重身体脂肪测量器对受检者的体脂率和内脏脂肪指数进行测量。

检查者使用一次性真空采血管抽取其空腹静脉血 5 ml,室温静置 30 min,置于低速台式冷冻离心机以 1790 ×g 的重力加速度离心 10 min,分离血清。采用西门子 ADVIA 1800 全自动生化分析仪(西门子医学诊断股份有限公司,德国)及原装配套试剂检测受检者的空腹血糖、血脂指标等。

1.2.3　变量定义与计算　个体满足以下 3 项或更多项条件时,即可诊断为代谢综合征[17]:(1)腹型肥胖(即中心型肥胖):腰围男性≥90 cm,女性≥85 cm;(2)高血糖:空腹血糖(Fasting Plasma Glucose, FPG)≥6.1 mmol/L 或糖负荷后 2 h 血糖(2hPG)≥7.8 mmol/L 或已确诊为糖尿病并治疗者;(3)高血压:血压≥130/85 mm Hg 或已确认为高血压并治疗者;(4)空腹甘油三酯(Triglyceride, TG)≥1.70 mmol/L;(5)空腹高密度脂蛋白胆固醇(High density lipoprotein cholesterol, HDL - C) <1.04 mmol/L。

预估葡萄糖处置率(eGDR)的计算公式为:21.158 - (0.09 × WC [cm]) - (3.407 × HTN [1 = 是,0 = 否]) - (0.551 × HbA1c%),作为 IR 的指标[18]。根据 eGDR 指数的四分位数,参与者被分为四组(Q1, Q2, Q3, Q4)。其他指标:血清白蛋白(ALB);血尿素氮(BUN);尿酸(UA)。

基本特征与生活方式调查:(1)根据世界卫生组织(WHO)的年龄分段标准,将研究对象分为青年组(<45 岁)、中年组(45 ~ 59 岁)和老年组(≥ 60 岁)。

(2)以不吸烟或累计吸烟量少于 100 支者为不吸烟组,超过 100 支者作为吸烟组、曾经吸烟但已停止半年以上为戒烟组。(3)饮酒分为不饮酒组、戒酒组(曾经饮酒但已停止饮酒半年及以上)、饮酒组(过去 1 年内每周饮酒≥ 1 次)。(4)喝茶者为过去一年内每周至少喝两次茶。(5)依据中国居民膳食指南(2022),高油饮食者为每日食用油摄入量超 30 g。高盐饮食者为每日食盐摄入量超 5 g。(7)体育锻炼者为过去一周内,参与了持续时长不少于 10 min 的中等或高强度体育活动,或累计进行了不少于 30 min 的低强度体育活动。(8)夜班工作:根据近半年的夜班状况(17:00 至次日 9:00 工作)分为无夜班组、曾经夜班组、现在夜班组。(9)职业紧张通过标准化工具评估工具:工作内容问卷(JDC)、付出 - 回报失衡问卷(ERI)量表进行判断。

1.3 *统计方法* 研究对符合近似正态的连续变量描述为 $\bar{x} \pm s$,分类变量以频率和百分比表示,分别使用独立 t 检验或卡方检验进行组间比较。采用不同水平的调整构建了三个 logistic 回归模型以分析 eGDR 水平与 MetS 患病的关联:(1)模型 1 未调整;(2)模型 2 调整了年龄、性别、教育水平、婚姻状况、收入水平;(3)模型 3 补充了吸烟,饮酒,身体质量指数(BMI),粉尘暴露,职业紧张,高盐,高油饮食与体育锻炼。为评估各模型中 eGDR 与模型中变量之间的潜在多重共线性,使用方差膨胀因子(VIF)。所有变量的 VIF 值均低于 5,表明无显著多重共线性问题。为了研究 eGDR 与 MetS 患病之间的剂量 - 反应关系,使用了基于 logistic 回归模型的限制性立方样条(RCS),拟合了 3 ~ 5 个节点的 RCS 模型,并选择具有最低 Akaike 信息准则(AIC)的模型来确定最佳节点数为 5 节点。最后,研究对 eGDR 与职业暴露因素对 MetS 的交互作用进行分析。研究采用 R 4.3.1 软件进行数据统计,检验水准 $\alpha = 0.05$。

2 结 果

2.1 *一般人口学特征* 研究对象中男性有 7 398 人(91.3%),女性有 704 人(8.7%),平均年龄为(48.76 ± 5.448)岁。本研究中代谢综合征总人群检出率为 36.1%,其中男性检出率 38.3%,女性检出率 14.3%。年龄、性别、BMI、工种、吸烟、饮酒、饮茶、高油饮食和粉尘暴露,以及除 BUN 外的生化指标在 MetS 患病组与正常组间存在统计学差异。总人群的平均 eGDR 为 8.05 ± 2.23,患有 MetS 者平均 eGDR 为 6.34 ± 1.55,显著低于不患 MetS 者的水平($P < 0.001$)。见表 1。

表 1 研究对象的基本特征分析

Table 1 Basic characteristic of the study subjects

变量	调查结果 (n =8 102)	代谢综合征		χ^2/t	P 值
		否(n =5 170)	是(n =2 932)		
一般情况					
年龄(岁,$\bar{x} \pm s$)	48.7 ±5.4	48.6 ±5.3	49.0 ±5.6	3.11	0.002
年龄组[n(%)]				1.30	0.523
青年(<45 岁)	2 114(26.1)	1 346(26.0)	768(26.2)		
中年(45 ~59 岁)	5 840(72.1)	3 736(72.2)	2 104(71.7)		
老年(≥60 岁)	148(1.8)	88(1.8)	60(2.2)		
性别[n(%)]				159.28	<0.001
男	7 398(91.3)	4 567(88.3)	2 831(96.5)		
女	704(8.7)	603(11.7)	101(3.5)		
BMI[n(%)]				1 653.25	<0.001
低体重	64(0.8)	62(1.2)	2(0.1)		
正常	2 670(33.0)	2 386(46.1)	284(9.7)		
超重	3 720(45.9)	2 238(43.3)	1 482(50.5)		
肥胖	1 648(20.3)	484(9.4)	1 164(39.7)		
教育程度[n(%)]				1.95	0.583
小学及以下	183(2.3)	115(2.2)	68(2.3)		
初中	2 083(25.7)	1 335(25.8)	748(25.5)		
高中/中专	3 470(42.8)	2 236(43.2)	1 234(42.0)		
大专/本科及以上	2 366(29.2)	1 484(28.7)	882(30.2)		
工种[n(%)]				43.26	<0.001
井下作业人员	4 396(54.3)	2 945(57.0)	1 451(26.2)		
井上作业人员	1 113(13.7)	682(13.2)	431(9.6)		
辅助服务人员	1 907(23.5)	1 138(22.0)	769(14.7)		
技术管理人员	686(8.5)	405(7.8)	281(49.5)		

（续表）

变量	调查结果（n=8 102）	代谢综合征		χ^2/t	P 值
		否（n=5 170）	是（n=2 932）		
婚姻状况[n(%)]				0.69	0.708
未婚/同居	119(1.5)	80(1.5)	39(1.3)		
已婚	7 634(94.2)	4 865(94.1)	2 769(94.4)		
离婚/丧偶/分居	349(4.3)	225(4.4)	124(4.2)		
生活、职业特征					
吸烟[n(%)]				29.55	<0.001
否	3 217(39.7)	2 165(41.9)	1 052(35.9)		
是	4 255(52.5)	2 631(50.9)	1 624(55.4)		
已戒烟	630(7.8)	374(7.2)	256(8.7)		
饮酒[n(%)]				25.51	<0.001
否	3 293(40.6)	2 207(42.7)	1 086(37.0)		
是	4 283(52.9)	2 648(51.2)	1 635(55.8)		
已戒酒	526(6.5)	311(6.1)	215(7.2)		
饮茶[n(%)]				59.72	<0.001
否	4 860(60.0)	3 265(63.2)	1 595(54.4)		
是	3 342(40.0)	1 905(36.8)	1 337(45.6)		
高油饮食[n(%)]				117.09	<0.001
否	6 493(80.1)	4 330(83.8)	2 163(73.8)		
是	1 609(19.9)	840(16.2)	769(26.2)		
高盐饮食[n(%)]				1.42	0.234
否	3 995(49.3)	2 575(49.8)	1 420(48.4)		
是	4 107(50.7)	2 595(50.2)	1 512(51.6)		
体育锻炼[n(%)]				1.88	0.170
否	6 419(79.2)	4 072(78.8)	2 347(80.0)		
是	1 683(20.8)	1 098(21.2)	585(20.0)		
倒班工作[n(%)]				0.13	0.937
无倒班	3 356(41.4)	2 141(41.4)	1 215(41.4)		
曾经有	1 264(15.6)	812(15.7)	452(15.4)		
现在有	3 482(43.0)	2 217(42.9)	1 265(43.1)		
噪声暴露[n(%)]				0.11	0.745
否	4 355(53.8)	2 786(53.9)	1 569(53.5)		
是	3 747(46.2)	2 384(46.1)	1 363(46.5)		
粉尘暴露[n(%)]				18.22	<0.001
否	4 291(53.0)	2 646(51.2)	1 645(56.1)		
是	3 811(47.0)	2 524(48.8)	1 287(43.9)		
职业紧张[n(%)]				3.73	0.053
否	2 685(33.1)	1 674(32.4)	1 011(34.5)		
是	5 417(66.9)	3 496(67.6)	1 921(65.5)		
生化指标					
TG(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)	1.75±1.26	1.32±0.79	2.51±1.55	45.46	<0.001
TC(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)	4.42±0.80	4.35±0.76	4.54±0.87	10.10	<0.001
HDL-C(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)	1.14±0.25	1.22±0.25	1.01±0.19	38.50	<0.001
LDL-C(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)	2.56±0.60	2.50±0.57	2.68±0.63	13.04	<0.001
BMI(kg/m^2,$\bar{x}\pm s$)	25.4±3.3	24.2±2.9	27.5±2.9	48.04	<0.001
WC(cm,$\bar{x}\pm s$)	89.08±9.76	85.31±8.82	95.74±7.51	53.87	<0.001
血糖	5.54±1.32	5.25±0.86	6.04±1.78	26.68	<0.001
糖化血红蛋白	5.67±0.98	5.48±0.71	6.01±1.26	24.24	<0.001
ALB(g/L,$\bar{x}\pm s$)	47.05±2.43	46.80±2.42	47.46±2.39	11.78	<0.001
BUN(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)	5.75±1.24	5.76±1.26	5.74±1.22	0.75	0.453
UA(μmol/L,$\bar{x}\pm s$)	354.0±84.3	337.7±78.7	382.7±86.2	23.89	<0.001
eGDR	8.05±2.23	9.02±1.97	6.34±1.55	63.33	<0.001
eGDR 分组					<0.001
Q1(0~6.273)	2 026(25.0)	403(7.8)	1 623(55.4)		
Q2(6.274~7.461)	2 025(25.0)	1 192(23.2)	827(28.2)		
Q3(7.462~10.187)	2 032(25.1)	1 578(30.5)	454(15.5)		
Q4(>10.187)	2 019(24.9)	1 991(38.5)	28(1.0)		

2.2 eGDR 与 MetS 的关联与剂量－反应关系 在充分调整协变量后，logistic 回归分析显示 eGDR 与 MetS 患病率呈显著负相关。作为连续型变量的分析结果发现，每增加 1 标准差（*SD* =2.23）的 eGDR，MetS 患病风险为原先的 0.52（95% *CI*：0.50 ~ 0.54）。趋势性分析发现与 Q1 低水平组相比，eGDR 更高水平组的个体表现出显著较低的 MetS 患病风险（趋势 $P < 0.001$）。具体而言，MetS 患病率的比值比（*OR*）在 Q2 中等水平组中为 0.29，在 Q3 较高水平组中为 0.11，在 Q4 高水平组中为 0.01，见表 2。

表 2 eGDR 与 MetS 患病率之间的关系

Table 2 Relationship between eGDR and MetS prevalence

MetS	模型 1		模型 2		模型 3	
	OR（95% *CI*）	*P* 值	*OR*（95% *CI*）	*P* 值	*OR*（95% *CI*）	*P* 值
eGDR						
每增加 1SD（SD =2.23）	0.46（0.44 ~ 0.47）	<0.001	0.46（0.44 ~ 0.48）	<0.001	0.52（0.50 ~ 0.54）	<0.001
eGDR 分组						
Q1（0 ~ 6.273）	1.00		1.00		1.00	
Q2（6.274 ~ 7.461）	0.17（0.15 ~ 0.20）	<0.001	0.17（0.15 ~ 0.20）	<0.001	0.29（0.25 ~ 0.34）	<0.001
Q3（7.462 ~ 10.187）	0.07（0.06 ~ 0.08）	<0.001	0.07（0.06 ~ 0.09）	<0.001	0.11（0.10 ~ 0.13）	<0.001
Q4（ >10.187）	0.00（0.00 ~ 0.01）	<0.001	0.00（0.00 ~ 0.01）	<0.001	0.01（0.01 ~ 0.01）	<0.001
趋势 *P* 值		<0.001		<0.001		<0.001

注：模型 1 未调整；模型 2 调整年龄，性别，教育水平，婚姻状况，收入水平；模型 3 调整年龄，性别，教育水平，婚姻状况，收入水平，吸烟，饮酒，BMI，粉尘暴露，职业紧张，高盐，高油饮食与体育锻炼。下同。

调整协变量后 RCS 曲线分析发现，eGDR 和 MetS 之间呈现非线性剂量反应关系，总体关联性检验与非线性检验均有统计学意义（$P < 0.001$）。MetS 患病风险随 eGDR 降低而增加，eGDR 越高，患 MetS 的风险越低。当 eGDR <7.45 时，MetS 患病风险随 eGDR 的减小而增大，于 > 7.45 后趋于平缓且患病风险下降，见图 1。

2.3 eGDR 组与职业暴露因素对 MetS 影响的交互作用 研究人群作为职业人群，具有特定的职业暴露危害因素，通过调整潜在的混杂因素，对 eGDR 组与职业暴露因素包括噪声、粉尘、职业紧张与倒班工作对 MetS 影响的交互作用进行分析。结果发现各模型中 eGDR 组与噪声暴露、粉尘暴露、职业紧张与倒班工作对 MetS 影响的交互作用无统计学意义（$P > 0.05$），见表 3。

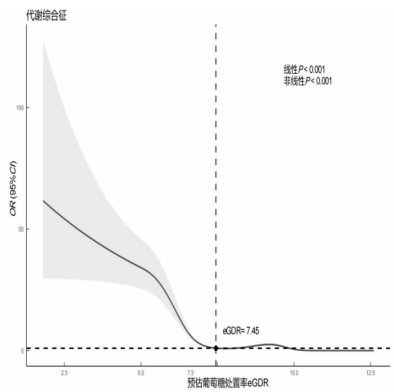


图 1 eGDR 与 MetS 的限制性立方样条模型

Fig. 1 Restricted cubic spline model for eGDR and MetS

表 3 eGDR 组与职业因素暴露对 MetS 的交互作用

Table 3 Interaction between eGDR group and occupational factor exposure on MetS

变量	模型 1 *OR*（95% *CI*）	模型 2 *OR*（95% *CI*）	模型 3 *OR*（95% *CI*）
噪声（ref：不接触噪声暴露）			
接触噪声暴露	1.20（0.96，1.50）	1.23（0.98，1.54）	1.19（0.95，1.50）
粉尘（ref：不接触粉尘暴露）			
接触粉尘暴露	0.81（0.65，1.02）	0.82（0.66，1.03）	0.79（0.63，1.02）
职业紧张（ref：无职业紧张）			
职业紧张	0.97（0.77，1.23）	0.95（0.75，1.20）	0.94（0.74，1.19）
倒班工作（ref：无倒班工作）			
曾经有倒班工作	0.95（0.69，1.33）	0.94（0.67，1.30）	0.96（0.69，1.35）
现在有倒班工作	0.90（0.71，1.14）	0.88（0.69，1.12）	0.88（0.68，1.12）

3 讨 论

本研究对山西省太原市西山煤电集团 8 102 名煤矿职工的 eGDR 与 MetS 患病率之间的关联进行了研究，校正协变量后，研究发现 eGDR 与 MetS 之间显著关联，随着 eGDR 的减少，MetS 患病风险急剧上升，

呈负相关非线性剂量 - 反应关系。

本研究中煤矿职工 MetS 综合患病率为 36.7%，显著高于中国普通人群(24.5%)[19]，与成都市青羊区 65 岁及以上老年人群(35.12%)[20]、巴西成年人(33%)[21]、美国成人(34.7%)[22]患病率相近。该差异可能与煤矿职工长期高强度体力劳动及倒班导致的昼夜节律失调相关[23]：高强度体力活动引发持续性氧化应激，使 SOD 活性下降、IL - 6 等促炎因子升高，进而激活 NF - κB 通路加剧胰岛素抵抗，增加 MetS 风险[24]。既往研究显示，倒班工作与男性钢铁工人 HUA 呈非线性剂量反应关系[25]，且可通过扰乱生物钟诱发 IR 及脂代谢紊乱，进而引发 MetS[26]。

基于 NHANES 人群的研究也发现 eGDR 与 MetS 的 RCS 模型呈非线性负相关剂量 - 反应关系，MetS 风险随 eGDR 降低而急剧升高[11]，与本研究结果一致。本研究进一步证实该关联，且发现 eGDR > 7.45 时风险曲线趋于平缓，提示存在“阈值效应”，即 MetS 风险不再随 eGDR 升高而显著降低[25]。作为 IR 的有效反映指标，eGDR 与 MetS 的关联可通过 IR 相关机制佐证：IR 一方面损害脂肪细胞糖吸收及储脂能力，导致 FFAs 升高，诱发代偿性高胰岛素血症并损伤胰岛 β 细胞[27]；另一方面通过 NO 减少、ROS 增多引发血管内皮功能障碍，结合交感神经激活及肾素介导的钠潴留加重血管损伤，促进高血压发生[28-30]。

值得注意的是，本研究未发现 eGDR 与职业危险因素对 MetS 存在显著交互作用，提示职业危险因素的作用路径可能不依赖于 IR(eGDR 反映)通路。丹麦儿童研究未发现环境暴露与 IR 相关[31]，中国宁夏研究亦表明职业紧张通过影响 HSP70 基因、诱导转氨酶升高参与 MetS 发病，其通路独立于 eGDR[32]。据此推测，粉尘、噪声、职业紧张等职业因素与 eGDR 对 MetS 的作用相互独立，其具体关联仍需进一步验证。

本研究也存在一定局限性。一是横断面研究设计无法明确 eGDR、IR 与 MetS 的因果关系；二是饮食、烟酒等变量调查不精确，遗传史、既往病史等残余混杂因素未完全排除；三是样本仅来自山西煤矿职工，代表性有限，结果外推需谨慎；四是未发现 eGDR 与 MetS 关联的职业特异性差异，可能受残余混杂及未观察长期关联影响。上述局限性需通过未来前瞻性队列研究解决，且重体力活动改善胰岛素功能及健康工人效应，也可能是特异性缺乏的原因[33-34]。

综上，在煤矿工人群体中 eGDR 与 Mets 存在显著关联，且呈非线性负相关剂量反应关系；暂未发现职业因素交互作用。

利益冲突声明　本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] Saklayen MG. The global epidemic of the metabolic syndrome[J]. Current Hypertension Reports, 2018, 20(2): 12.

[2] Rizzo M, Rizvi AA. New advances in metabolic syndrome[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2024, 25(15): 8311.

[3] He YN, Li YP, Bai GY, et al. Prevalence of metabolic syndrome and individual metabolic abnormalities in China, 2002 - 2012[J]. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 2019, 28(3): 621 - 633.

[4] Huh JH, Yadav D, Kim JS, et al. An association of metabolic syndrome and chronic kidney disease from a 10 - year prospective cohort study[J]. Metabolism, 2017, 67: 54 - 61.

[5] Mottillo S, Filion KB, Genest J, et al. The metabolic syndrome and cardiovascular risk a systematic review and meta - analysis[J]. Journal of the American College of Cardiology, 2010, 56(14): 1113 - 1132.

[6] Neeland IJ, Lim S, Tchernof A, et al. Metabolic syndrome[J]. Nature Reviews Disease Primers, 2024, 10(1): 77.

[7] Park SY, Gautier JF, Chon S. Assessment of insulin secretion and insulin resistance in human[J]. Diabetes & Metabolism Journal, 2021, 45(5): 641 - 654.

[8] Tao LC, Xu JN, Wang TT, et al. Triglyceride - glucose index as a marker in cardiovascular diseases: landscape and limitations[J]. Cardiovascular Diabetology, 2022, 21(1): 68.

[9] Wei XY, Min Y, Song G, et al. Association between triglyceride - glucose related indices with the all - cause and cause - specific mortality among the population with metabolic syndrome[J]. Cardiovascular Diabetology, 2024, 23(1): 134.

[10] Son DH, Lee HS, Lee YJ, et al. Comparison of triglyceride - glucose index and HOMA - IR for predicting prevalence and incidence of metabolic syndrome[J]. Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases, 2022, 32(3): 596 - 604.

[11] Chen XL, Li AH, Ma QL. Association of estimated glucose disposal rate with metabolic syndrome prevalence and mortality risks: a population - based study[J]. Cardiovascular Diabetology, 2025, 24(1): 38.

[12] Xia KD, Jin S, Chen GF, et al. Association between estimated glucose disposal rate and metabolic syndrome: a cross - sectional analysis of the National Health and Nutrition Examination Survey[J]. Front Nutr, 2025, 12: 1544582.

[13] Zhang L, Cai N, Mo L, et al. Estimated glucose disposal rate and risk of metabolic syndrome: A population - based study[J]. PLOS One, 2025, 20(10): e0335502.

[14] Lu Y, Zhang Z, Yan H, et al. Effects of occupational hazards on job stress and mental health of factory workers and miners: a propensity score analysis[J]. BioMed Research International, 2020, 20: 1754897.

[15] Zheng S, Zhang XF, Zhang L, et al. Effects of short - term exposure to gaseous pollutants on metabolic health indicators of patients with metabolic syndrome in Northwest China[J]. Ecotoxicology and Environment Safety, 2023, 249: 114438.

[16] Kim G, Kim H, Yun B, et al. Association of occupational noise exposure and incidence of metabolic syndrome in a retrospective cohort study[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(4): 2209.

(下转第 1507 页)

JACC. Cardiovascular Imaging, 2022, 15(7): 1325 – 1338.
[11] De gaspari M, Larsen BT, d' Amati G, et al. Diagnosing myocarditis in endomyocardial biopsies: survey of current practice [J]. Cardiovascular Pathology, 2023, 64: 107494.
[12] Patone M, Mei XW, Handunnetthi L, et al. Risks of myocarditis, pericarditis, and cardiac arrhythmias associated with COVID – 19 vaccination or SARS – CoV – 2 infection [J]. Nature Medicine, 2022, 28(2): 410 – 422.
[13] Ammirati E, Moslehi JJ. Diagnosis and treatment of acute myocarditis: a review [J]. JAMA: the Journal of the American Medical Association, 2023, 329(13): 1098 – 1113.
[14] Sahal N, Reintjes R, Aro AR. Review article: communicable diseases surveillance lessons learned from developed and developing countries: literature review [J]. Scandinavian Journal of Public Health, 2009, 37(2): 187 – 200.
[15] Svedlund eriksson E, Lantero Rodriguez M, Halvorsen B, et al. Testosterone exacerbates neutrophilia and cardiac injury in myocardial infarction via actions in bone marrow [J]. Nature Communications, 2025, 16(1): 1142.
[16] Gersh F, O' Keefe JH, Elagizi A, et al. Estrogen and cardiovascular disease [J]. Progress in Cardiovascular Diseases, 2024, 84: 60 – 67.
[17] Teixeira LR, Pega F, Dzhambov AM, et al. The effect of occupational exposure to noise on ischaemic heart disease, stroke and hypertension: A systematic review and meta – analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work – Related Burden of Disease and Injury [J]. Environment International, 2021, 154: 106387.
[18] Shi W, Ghisi GLM, Zhang L, et al. Systematic review, meta – analysis and meta – regression to determine the effects of patient education on health behaviour change in adults diagnosed with coronary heart disease [J]. J Clin Nurs, 2023, 32(15/16): 5300 – 5327.
[19] Xu MQ, Lo SHS, Miu EYN, et al. Educational programmes for improving medication adherence among older adults with coronary artery disease: A systematic review and meta – analysis [J]. International Journal of Nursing Studies, 2025, 161: 104924.

收稿日期:2025-11-14

(上接第 1397 页)

[17] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版)[J]. 中华糖尿病杂志,2021,13(4):315 – 409.
Chinese Diabetes Society. Chinese Guidelines for the Prevention and Treatment of Type 2 Diabetes (2020 Edition) [J]. Chinese Journal of Diabetes, 2021, 13(4): 315 – 409.
[18] Herascu A, Avram VF, Gaita L, et al. Interventions targeting insulin resistance in patients with type 1 diabetes: a narrative review [J]. Medicina (Kaunas, Lithuania), 2024, 60(12): 2067.
[19] Li R, Li WC, Lun ZJ, et al. Prevalence of metabolic syndrome in Mainland China: a meta – analysis of published studies [J]. BMC Public Health, 2016, 16: 296.
[20] 夏舟容,付林,蔡鹏,等. 成都市社区老年人代谢综合征现状及影响因素的性别差异研究[J]. 现代预防医学,2024,51(2):279 – 284.
Xia ZR, Fu L, Cai P, et al. Gender differences of metabolic syndrome and influencing factors among elderly People in urban communities [J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51(2): 279 – 284. (In Chinese)
[21] De siqueira valadares LT, de Souza LSB, Salgado Júnior VA, et al. Prevalence of metabolic syndrome in Brazilian adults in the last 10 years: a systematic review and meta – analysis [J]. BMC Public Health, 2022, 22(1): 327.
[22] Hirode G, Wong RJ. Trends in the prevalence of metabolic syndrome in the United States, 2011 – 2016 [J]. JAMA: the Journal of the American Medical Association, 2020, 323(24): 2526 – 2528.
[23] Strauss M, Lavie CJ, Lippi G, et al. A systematic review of prevalence of metabolic syndrome in occupational groups – Does occupation matter in the global epidemic of metabolic syndrome? [J]. Progress in Cardiovascular Diseases, 2022, 75: 69 – 77.
[24] Steinbrink GM, Martinez J, Swartz AM, et al. Is all physical activity equal? Investigating the total and domain – specific relationships between physical activity and cardiometabolic health in U.S. adults (NHANES 2013 – 2018) [J]. BMC Public Health, 2024, 24(1): 3363.
[25] 李庆林,王涵,张晓红,等. 倒班和睡眠时间对钢铁工人肝功能异常的影响[J]. 中华疾病控制杂志,2021,25(11):1347 – 1353.
Li QL, Wang H, Zhang XH, et al. Effects of rotating night shift work and sleep duration on liver dysfunction among steelworkers [J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2021, 25(11): 1347 – 1353. (In Chinese)
[26] Wang F, Zhang L, Zhang Y, et al. Meta – analysis on night shift work and risk of metabolic syndrome [J]. Obesity Reviews, 2014, 15(9): 709 – 720.
[27] Steinberg GR, Valvano CM, De NW, et al. Integrative metabolism in MASLD and MASH: Pathophysiology and emerging mechanisms [J]. Journal of Hepatology, 2025, 83(2): 584 – 595.
[28] Apostolopoulou M, Lambadiari V, Roden M, et al. Insulin resistance in type 1 diabetes: pathophysiological, clinical, and therapeutic relevance [J]. Endocrine Reviews, 2025, 46(3): 317 – 348.
[29] Hill MA, Yang Y, Zhang LP, et al. Insulin resistance, cardiovascular stiffening and cardiovascular disease [J]. Metabolism, 2021, 119: 154766.
[30] Tripathy D, Mohanty P, Dhindsa S, et al. Elevation of free fatty acids induces inflammation and impairs vascular reactivity in healthy subjects [J]. Diabetes, 2003, 52(12): 2882 – 2887.
[31] Pedersen M, Halldorsson TI, Ketzel M, et al. Associations between ambient air pollution and noise from road traffic with blood pressure and insulin resistance in children from Denmark [J]. Environment Epidemiology, 2019, 3(5): e069.
[32] 陈楠,宋琳,王心巧,等. 职业慢性心理应激与转氨酶、HSP70 基因家族及其蛋白交互作用与代谢综合征的关联[J]. 卫生研究,2024,53(4):561 – 568.
Chen N, Song L, Wang XQ, et al. Occupational chronic psychological stress and transaminase, HSP70 gene family and its proteins association of the interaction with metabolic syndrome [J]. Journal of Hygiene Research, 2024, 53(4): 561 – 568. (In Chinese)
[33] Sampath kumar A, Maiya AG, Shastry BA, et al. Exercise and insulin resistance in type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta – analysis [J]. Annals of Physical and Rehabilitation Medicine, 2019, 62(2): 98 – 103.
[34] Brown DM, Picciotto S, Costello S, et al. The healthy worker survivor effect: target parameters and target populations [J]. Curr Environ Health Rep, 2017, 4(3): 364 – 372.

收稿日期:2025-11-03