

[文章编号] 1671-587X(2024)06-1741-10

DOI:10.13481/j.1671-587X.20240629

职业酸雾暴露与作业工人生物衰老加速的关联性分析

吴维超¹, 郭燕², 赵祥凯², 谷志广², 郭怡佳¹, 蓝子鹏¹, 黄惠¹, 匡蕾³, 张明³, 胡东生³,
杨永利⁴, 王威², 陈金茹¹

(1. 广东省深圳市宝安区公共卫生服务中心, 广东 深圳 518102; 2. 郑州大学公共卫生学院劳动卫生与职业病学教研室, 河南 郑州 450001; 3. 深圳大学医学部公共卫生学院流行病与卫生统计学系, 广东 深圳 518102; 4. 郑州大学公共卫生学院流行病与卫生统计学教研室, 河南 郑州 450001)

[摘要] **目的:** 分析职业酸雾暴露与作业工人生物衰老加速的关联性, 并阐明其相关危险因素。**方法:** 选取341名男性职业酸雾接触工人和201名男性无职业接触的工人作为研究对象, 分别为暴露组和对照组。通过问卷调查和体格检查收集2组研究对象一般资料, 检测2组研究对象血清中红细胞计数(RBC)、血小板数(PLT)和白蛋白(ALB)、尿素(Urea)、肌酐(CR)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、糖化血红蛋白(HbA1c)及超敏C反应蛋白(Hs-CRP)水平。采用Klemera-Doubal法(KDM)构建复合衰老指标KDM-生物年龄(BA)(KDM-BA), 选择2009年中国健康与营养调查(CHNS)数据库样本训练模型参数, 计算BA加速。基于人群特征进行分层, 分析不同人群特征2组研究对象的BA加速, 采用广义线性模型分析酸雾暴露对BA加速的影响因素。**结果:** 选择2009年CHNS数据库中20~79岁的样本训练模型参数, 共纳入8133例样本, 其中男性人群样本3788例。2组研究对象血清中Urea、CR、HbA1c、ALB和TC水平及收缩压(SBP)、总工龄、睡眠时长和体质指数(BMI)比较差异均有统计学意义($P<0.05$); 与对照组比较, 暴露组研究对象BA加速明显升高($P<0.05$)。在全人群和暴露组中, 与不吸烟组比较, 吸烟组研究对象BA加速明显升高($P<0.05$); 在全人群、对照组和暴露组中, 随着BMI升高, 不同BMI组研究对象BA加速明显降低($P<0.05$)。与对照组比较, 暴露组研究对象<40岁、总工龄4~7年、汉族、未婚、吸烟和睡眠时长6~7h及超重质量人群中BA加速明显升高($P<0.05$)。酸雾暴露、吸烟和BMI与BA加速有关联($\beta=0.72$, 95%CI: 0.24—1.21; $\beta=0.59$, 95%CI: 0.11—1.06; $\beta=-0.29$, 95%CI: -0.35—-0.22)。**结论:** 职业酸雾暴露可能加速作业工人生物衰老, 酸雾是加速机体生物衰老的危险因素。

[关键词] 酸雾; 生物衰老; 生物年龄; 吸烟; 体质指数

[中图分类号] R134.2 **[文献标志码]** A

Correlation analysis on occupational acid fog exposure and accelerated biological aging in workers

WU Weichao¹, GUO Yan², ZHAO Xiangkai², GU Zhiguang², GUO Yijia¹, LAN Zipeng¹, HUANG Hui¹,
KUANG Lei³, ZHANG Ming³, HU Dongsheng³, YANG Yongli⁴, WANG Wei², CHEN Jinru¹

(1. Public Health Service Center, Shenzhen Baoan District, Shenzhen, Guangdong 518102, China;

[收稿日期] 2024-08-07

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(82373675); 广东省深圳市科技局科技计划项目(202208183000115); 广东省深圳市宝安区医疗卫生科研项目(2024JD273)

[作者简介] 吴维超(1982—), 男, 河南省信阳市人, 主管医师, 医学硕士, 主要从事职业危害预防和控制方面的研究。

[通信作者] 王威, 教授, 博士研究生导师(E-mail: ww375@zju.edu.cn);
陈金茹, 主任医师(E-mail: 541932794@qq.com)

2. Department of Labor Health and Occupational Medicine, School of Public Health, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. Department of Epidemiology and Health Statistics, School of Public Health, Shenzhen University, Shenzhen 518102, China; 4. Department of Epidemiology and Health Statistics, School of Public Health, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

ABSTRACT Objective: To discuss the association between occupational acid fog exposure and accelerated biological aging of the workers, and to clarify its related risk factors. **Methods:** A total of 341 male workers exposed to occupational acid fog and 201 male workers without occupational exposure were selected as the study subjects, and they were divided into exposure group and control group, respectively. The general informations of the subjects in two groups were collected through questionnaires and physical examinations. The levels of red blood cell count (RBC), platelet count (PLT), albumin (ALB), urea (Urea), creatinine (CR), triglycerides (TG), total cholesterol (TC), glycated hemoglobin (HbA1c), and high-sensitivity C-reactive protein (Hs-CRP) in serum of the subjects in two groups were detected. The Klemm-Doubal method (KDM) was used to construct the composite aging measure, KDM-biological age (BA) (KDM-BA). The model parameters were trained using samples from the 2009 China Health and Nutrition Survey (CHNS) Database to calculate the BA acceleration of the subjects in two groups; stratified analysis based on the population characteristics was conducted to analyze the BA of the subjects in two groups with different population characteristics; generalized linear model was used to analyze the factors influencing BA acceleration due to acid fog exposure. **Results:** The model parameters were trained using samples from the 2009 CHNS Database, including 8 133 cases aged 20–79 years, of which 3 788 were male. The levels of Urea, CR, HbA1c, ALB, and TC, as well as systolic blood pressure (SBP), total working years, sleep duration, and body mass index (BMI) of the subjects between two groups had significant differences ($P < 0.05$). Compared with control group, the BA acceleration of the subjects in exposure group was significantly increased ($P < 0.05$). In entire population and exposure group, the BA acceleration in the smokers was significantly higher than that in the non-smokers ($P < 0.05$). In entire population, control group, and exposure group, the BA accelerations of the subjects in different BMI groups were significantly decreased with the increase of BMI ($P < 0.05$). Compared with control group, the BA acceleration of the subjects in exposure group was significantly increased ($P < 0.05$), including those under 40 years old, with total working years of 4–7 years, Han nationality, unmarried, smokers, and sleep duration 6–7 h, and with overweight. Acid fog exposure, smoking, and BMI were associated with the BA acceleration ($\beta = 0.72$, 95% CI: 0.24–1.21; $\beta = 0.59$, 95% CI: 0.11–1.06; $\beta = -0.29$, 95% CI: -0.35–-0.22). **Conclusion:** Occupational acid fog exposure may accelerate the biological aging in the workers, and acid fog is a risk factor to accelerate the biological aging of the body.

KEYWORDS Acid fog; Biological aging; Biological age; Smoking; Body mass index

酸雾是指雾状的酸类物质, 粒径为0.1~10.0 μm , 是介于烟气和气雾之间的物质, 具有较强的腐蚀性。在电子、冶金和电镀等行业生产过程中, 作业工人多存在酸雾接触风险, 强无机酸雾主要包括硫酸、盐酸及硝酸等常见成分。强无机酸雾可以悬浮于空气中, 通过呼吸道被摄入人体。随着空气的流动, 酸雾向水和土壤等多种环境介质扩散, 进一步通过皮肤接触及口腔摄入进入人体, 作业工人因接触酸雾程度不同会出现口腔、面部、肺部和身体其

他部位的病变^[1-2]。酸雾可能会破坏非传染性疾病的生理过程并促进其发病机制, 急性酸雾中毒还可能导致肺水肿并发认知功能障碍等^[3]。

衰老是一个复杂的病理生理过程, 随着年龄增长身体会发生机体结构和功能渐进性衰退, 几乎所有的慢性疾病均与衰老有关, 组织、器官和细胞的衰老导致人体对应激的反应能力减弱, 表现为适应力和抵抗力下降的缓慢过程^[4]。研究^[5-6]表明: 环境中的化学有害因素暴露是机体加速衰老的重

要原因之一。由衰老所导致的急性和慢性疾病影响人类健康及生活质量, 还加剧了社会的经济和医疗负担。目前, 有关职业酸雾暴露与生物衰老之间关联性的研究较少。因此, 分析职业酸雾暴露对生物衰老的影响, 对保护酸雾接触工人健康并制定有效的预防和干预措施具有重要的意义。本研究以广东省深圳市宝安区部分电子和化工工厂中存在职业酸雾暴露和无酸雾暴露的工人作为研究对象, 构建生物衰老加速指标, 探讨职业酸雾暴露对相关职业工人加速衰老的影响, 为重点行业职业人群衰老的主动干预提供信息支持。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究共纳入 542 名相关行业工人作为研究对象, 分为暴露组 ($n=341$) 和对照组 ($n=201$)。暴露组研究对象来自广东省深圳市宝安区进行金属表面处理及热处理加工、电子元件和电子专用材料制造相关企业的作业工人, 对照组研究对象来自当地精密机械公司的作业工人。暴露组纳入标准: ①长期接触硫酸雾; ②无其他职业有害因素接触史; ③男性; ④年龄 20~60 岁。对照组纳入标准: ①无酸雾和其他职业有害因素接触; ②男性; ③年龄 20~60 岁。排除标准: ①患有职业禁忌证者; ②心脏、肝脏和肾脏等重要脏器病变者; ③恶性肿瘤患者; ④近 1 年服用降血压、降血糖和降血脂相关药物者; ⑤体格检查结果和问卷调查信息缺失者。

1.2 问卷调查和体格检查 由统一培训的专业调查人员通过问卷调查方式, 收集 2 组研究对象年龄、性别、民族、居住地、婚姻、文化程度和职业史等人口统计学特征及吸烟史、饮酒史、体育锻炼和睡眠时长等生活方式信息。由专业医护人员按照相应标准测量方法对研究对象进行身高、体质量、腰围和收缩压 (systolic blood pressure, SBP) 等体格检查。本研究中吸烟定义为目前或以前使用任何烟草产品^[7]; 饮酒定义为过去 1 年内任何时间饮过酒的人^[8]; 体育锻炼定义为有意识地操作身体练习和运动负荷为增强体质、提高及保持身体机能的体育运动^[9], 调查中将运动时间 ≥ 15 min 定义为每周 1 次体育锻炼。所有研究对象均被告知研究目的并自愿签署知情同意书。

1.3 临床血液生物标志物检测 由专业的医护人员对研究对象进行血液采集, 由专业的检验人员进行血常规和血生化指标检测, 临床血液生物标志物

包括血清中红细胞计数 (red blood cell, RBC)、血小板数 (platelet, PLT) 和白蛋白 (albumin, ALB)、尿素 (Urea)、肌酐 (creatinine, CR)、甘油三酯 (triglyceride, TG)、总胆固醇 (total cholesterol, TC)、糖化血红蛋白 (glycated hemoglobin, HBA1c) 及超敏 C 反应蛋白 (hypersensitive C-reactive protein, Hs-CRP) 水平。

1.4 2 组研究对象生物年龄 (biological age, BA) 计算 本研究基于临床生化检测和人体测量学数据, 采用 Klemra-Doubal 法 (KDM) 构建复合衰老指标 KDM-BA^[10]。

KDM-BA 计算公式:

$$KDM-BA = \frac{\sum_{j=1}^m (x_j - q_j) \frac{k_j}{s_j^2} + \frac{CA}{s_{BA}^2}}{\sum_{j=1}^m \left(\frac{k_j}{s_j} \right)^2 + \frac{1}{s_{BA}^2}}$$

其中 m 为所选择的临床血液生物标志物总数量, x_j 为某一个体对应的标志物 j 的数值, CA 为该个体对应的时序年龄。对于每个标志物 j , 通过将该标志物和时序年龄进行回归分析, 计算所述参数 k_j 、 q_j 和 s_j , 其中 q_j 为回归截距, k_j 为回归系数, s_j 为均方根误差。 S_{BA} 为标度因子。

根据相关研究^[11-12]的标准, 本研究最终共纳入 10 个可获得的临床生化指标, 参与 KDM-BA 的构建: SBP、RBC、PLT、ALB、Urea、CR、TG、TC、HBA1c 和 Hs-CRP。本研究中选择 2009 年中国健康与营养调查 (China Health and Nutrition Survey, CHNS) 数据库^[13]中的样本训练模型参数, 获得最终模型公式后, 代入研究对象的临床标志物检测值, 计算每个个体的 KDM-BA。生物衰老加速以 BA 加速代表, BA 加速^[14] 定义为 KDM-BA 与实足年龄 (chronological age, CA) 的差值, 即 BA 加速 = KDM-BA - CA 值。BA 加速 > 0 表明该研究对象在生物学和机体功能上衰老程度更为严重, BA 加速 < 0 表明研究对象较预期更年轻。

1.5 统计学分析 采用 Epidata 3.1 软件建立数据库, 采用双盲输入调查问卷, SPSS 21.0 统计软件和 R 4.1 软件进行统计学分析。2 组研究对象年龄、工龄、KDM-BA、BA 加速、血清中 RBC、PLT 和 ALB、Urea、CR、TC 及 HBA1c 水平等定量数据均符合正态分布, 以 $\bar{x} \pm s$ 表示; 2 组研究对象血清中 TG 和 Hs-CRP 水平不符合正态分布, 以对数转换后的 $\bar{x} \pm s$ 表示, 多组间样本均数比较采用单因素方

差分析, 组间样本均数两两比较采用独立样本 t 检验; 2组研究对象民族、居住地、婚姻、教育、吸烟、饮酒、体育锻炼、睡眠时长及体质量指数 (body mass index, BMI) 等定性数据采用例数 (%) 表示, 组间比较采用 χ^2 检验。基于人群特征进行分层, 分析不同人群特征 2组研究对象的 BA 加速, 采用广义线性模型分析酸雾暴露对 BA 加速的影响因素。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 KDM-BA 模型参数 选择 2009 年 CHNS 数据库中 20~79 岁的人群样本训练模型参数, 共纳入有临床标志物的样本 8 408 例, 删除标志物缺失的 275 例样本, 剩余 8 133 例, 其中男性人群样本 3 788 例。基于 BA 的性别差异和研究对象为男性人群^[15], 本研究对男性人群进行建模, 获得上述公式参数计算 KDM-BA, KDM-BA 模型参数见表 1。

表 1 KDM-BA 模型参数
Tab. 1 Parameters of KDM-BA model

Biomarker	k	q	s	s_{BA}^2
Urea (mmol·L ⁻¹)	0.018 8	4.853 1	1.477 2	
CR (μmol·L ⁻¹)	0.185 9	86.525 2	16.945 6	
RBC (10 ¹² L ⁻¹)	-0.011 0	5.525 5	0.633 7	
PLT (10 ⁹ L ⁻¹)	-0.583 9	233.611 5	64.026 9	
HBA1c (%)	0.011 8	5.061 1	0.933 5	
ALB (g·L ⁻¹)	-0.076 5	51.686 7	3.341 5	-71.048 2
TC (mmol·L ⁻¹)	0.006 9	4.484 9	0.970 2	
SBP (mmHg)	0.453 6	103.249 4	16.140 5	
Ln(Hs-CRP) (mg·L ⁻¹)	0.019 4	-0.957 7	1.424 6	
Ln(TG) (mmol·L ⁻¹)	-0.002 2	0.454 7	0.666 3	

2.2 2组研究对象一般资料 暴露组研究对象平均年龄 (36.60±9.11) 岁, 对照组研究对象平均年龄 (36.35±8.68) 岁, 平均 KDM-BA 分别为 (37.02±9.33) 岁和 (36.20±9.32) 岁, 总工龄分别为 (6.73±6.25) 年和 (9.53±8.75) 年。2组研究对象年龄、生物年龄、民族、居住地、婚姻状况、文化程度、吸烟情况、饮酒情况和体育锻炼比

较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。2组研究对象血清中 Urea、CR、HBA1c、ALB 和 TC 水平及 SBP、总工龄、睡眠时长和 BMI 比较差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。与对照组 [(-0.14±2.83) 岁] 比较, 暴露组研究对象 BA 加速 [(0.41±2.86) 岁] 明显升高 ($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 2组研究对象一般资料
Tab. 2 General data of subjects in two groups

Baseline characteristics	Exposure group (n=341)	Control group (n=201)	t/χ^2	P
Age (year)	36.60±9.11	36.35±8.68	0.325	0.745
Urea (mmol·L ⁻¹)	4.52±1.15	5.01±1.28	4.476	<0.01
CR (μmol·L ⁻¹)	82.37±11.73	84.52±10.62	2.184	0.029
RBC (10 ¹² L ⁻¹)	5.20±0.42	5.27±0.35	1.855	0.064
PLT (10 ⁹ L ⁻¹)	253.53±56.93	260.9±55.55	1.478	0.140
HBA1c (%)	5.44±0.42	5.57±0.77	2.184	0.030
ALB (g·L ⁻¹)	47.67±2.44	49.45±2.33	8.449	<0.01
TC (mmol·L ⁻¹)	4.79±0.97	5.03±0.91	2.831	0.005
SBP (mmHg)	126.01±13.95	132.35±12.46	5.470	<0.01
Ln(Hs-CRP) (mg·L ⁻¹)	-0.25±1.10	-0.17±1.29	0.780	0.436
Ln(TG) (mmol·L ⁻¹)	0.28±0.66	0.29±0.58	0.242	0.809

续表

Baseline characteristics	Exposure group (n=341)	Control group (n=201)	t/ χ^2	P
BA (years)	37.02±9.33	36.20±9.32	0.982	0.326
Accelerated biological age (years)	0.41±2.86	-0.14±2.83	2.212	0.027
Length of service (years)	6.73±6.25	9.53±8.75	3.976	<0.01
Nationality			0.000	1.000
Han	295 (86.51)	174 (86.57)		
Other	46 (13.49)	27 (13.43)		
Residence			0.070	0.791
Rural	298 (87.39)	178 (88.56)		
City	43 (12.61)	23 (11.44)		
Marital status			2.464	0.292
Single	119 (34.90)	60 (29.85)		
Married	207 (60.70)	135 (67.16)		
Other	15 (4.40)	6 (2.99)		
Educational level			0.086	0.769
Low	152 (44.57)	93 (46.27)		
High	189 (55.43)	108 (53.73)		
Smoking			0.313	0.576
Yes	171 (50.15)	95 (47.26)		
No	170 (49.85)	106 (52.74)		
Drinking alcohol			1.786	0.181
Yes	152 (44.57)	77 (38.31)		
No	189 (55.43)	124 (61.69)		
Physical exercise (times·week ⁻¹)			3.892	0.143
<1	110 (32.26)	74 (36.82)		
1-3	155 (45.45)	74 (36.82)		
≥4	76 (22.29)	53 (26.37)		
Sleep duration (h)			15.563	<0.01
<6	15 (4.40)	21 (10.45)		
6-7	184 (53.96)	125 (62.19)		
≥8	142 (41.64)	55 (27.36)		
BMI(kg·m ⁻²)			8.656	0.034
<18.5	12 (3.52)	10 (4.98)		
18.5~23.9	142 (41.64)	103 (51.24)		
24.0~27.9	127 (37.24)	68 (33.83)		
≥28.0	60 (17.60)	20 (9.95)		

Nationality groups were classified into Han or other (others included other ethnic minorities besides Han); the permanent residence of the research subjects was classified as city or rural based on administrative regions; Low: High school or below; High: Associate degree/university or higher; Non-normally distributed biomarkers (Hs-CRP and TG) were log-transformed.

2.3 不同人群特征2组研究对象BA加速 在全人群和暴露组中, 与不吸烟组比较, 吸烟组研究对象BA加速明显升高 ($P<0.05$); 在全人群、对照组和暴露组中, 随着BMI升高, 不同BMI组研究对象BA加速明显降低 ($P<0.05$); 其他人群特征研究对象BA加速比较差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。全人群中, 与对照组比较, 暴露组研究对

象BA加速明显升高 ($P<0.05$); 在<40岁、总工龄4~7年、汉族、未婚、吸烟和睡眠时长6~7h及超体质量人群中, 与对照组比较, 暴露组研究对象BA加速明显升高 ($P<0.05$)。在其他人群特征中, 2组研究对象BA加速比较差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。见表3。

2.4 BA加速的影响因素 在模型中纳入民族、居

住地、婚姻、教育、吸烟、饮酒、体育锻炼、睡眠时长和BMI等协变量进一步调整后,结果显示:酸雾暴露、吸烟和BMI与BA加速有关联 ($\beta = 0.72$, 95%CI: 0.24—1.21; $\beta = 0.59$, 95%CI: 0.11—1.06; $\beta = -0.29$, 95%CI: -0.35—-0.22)。见表4。

表3 不同人群特征下2组研究对象BA加速

Tab. 3 BA acceleration of subjects in two groups with different population characteristics

Group	Total		Exposure		Control		<i>t</i>	<i>P</i>
	<i>n</i>	BA acceleration	<i>n</i>	BA acceleration	<i>n</i>	BA acceleration		
Total population	542	0.21±2.86	341	0.41±2.86	201	-0.14±2.83	2.205	0.028
Age(year)								
<40	362	0.14±2.88	228	0.40±2.87	134	-0.31±2.86	2.279	0.023
≥40	180	0.34±2.81	113	0.44±2.85	67	0.18±2.75	0.583	0.561
<i>t</i>		0.775		0.100		1.163		
<i>P</i>		0.439		0.920		0.246		
Length of service (year)								
<4	205	0.39±2.86	136	0.63±2.89	69	-0.08±2.78	1.679	0.095
4—7	116	0.17±2.76	78	0.55±2.70	38	-0.60±2.74	2.140	0.034
≥8	221	0.06±2.91	127	0.10±2.92	94	-0.01±2.90	0.277	0.782
<i>F</i>		0.725		1.209		0.627		
<i>P</i>		0.485		0.300		0.535		
Nationality								
Han	469	0.20±2.83	295	0.40±2.86	174	-0.15±2.75	2.068	0.039
Other	73	0.27±3.05	46	0.48±2.90	27	-0.08±3.30	0.761	0.449
<i>t</i>		0.221		0.179		0.129		
<i>P</i>		0.825		0.858		0.898		
Residence								
Rural	476	0.25±2.87	298	0.42±2.88	178	-0.05±2.83	1.753	0.080
City	66	-0.08±2.77	43	0.34±2.74	23	-0.86±2.71	1.711	0.092
<i>t</i>		0.860		0.170		1.300		
<i>P</i>		0.390		0.865		0.195		
Marital status								
Single	179	0.23±2.71	119	0.56±2.55	60	-0.41±2.92	2.286	0.023
Married	342	0.17±2.93	207	0.35±3.02	135	-0.09±2.76	1.381	0.168
other	21	0.55±3.07	15	0.22±3.02	6	1.37±3.32	0.764	0.454
<i>F</i>		0.181		0.239		0.155		
<i>P</i>		0.835		0.787		0.317		
Educational level								
Low	245	0.20±2.99	152	0.41±2.95	93	-0.14±3.04	1.400	0.163
High	297	0.21±2.75	189	0.41±2.79	108	-0.15±2.64	1.711	0.088
<i>t</i>		0.022		0.005		0.030		
<i>P</i>		0.983		0.996		0.976		
Smoking								
Yes	266	0.51±2.98	171	1.11±2.80	95	-0.56±3.00	4.566	<0.01
No	276	-0.09±2.71	170	-0.29±2.75	106	0.23±2.61	1.564	0.119
<i>t</i>		2.478		4.675		2.009		
<i>P</i>		0.014		<0.001		0.046		

续表

Group	Total		Exposure		Control		<i>t</i>	<i>P</i>
	<i>n</i>	BA acceleration	<i>n</i>	BA acceleration	<i>n</i>	BA acceleration		
Drinking alcohol								
Yes	229	0.25±3.02	152	0.48±2.93	77	-0.20±3.17	1.606	0.110
No	313	0.17±2.74	189	0.36±2.81	124	-0.11±2.60	1.498	0.135
<i>t</i>		0.321		0.384		0.203		
<i>P</i>		0.749		0.701		0.839		
Physical exercise (times·week ⁻¹)								
<1	184	-0.01±2.79	110	0.20±2.74	74	-0.32±2.84	1.256	0.211
1-3	229	0.36±2.97	155	0.45±3.01	74	0.16±2.91	0.697	0.486
≥4	129	0.24±2.75	76	0.64±2.73	53	-0.32±2.69	1.975	0.050
<i>F</i>		0.843		0.539		0.674		
<i>P</i>		0.431		0.584		0.511		
Sleep duration (h)								
<6	36	-0.57±2.70	15	-1.62±1.78	21	0.18±3.02	2.061	0.047
6-7	309	0.25±2.84	184	0.53±2.86	125	-0.16±2.78	2.116	0.035
≥8	197	0.28±2.91	142	0.47±2.89	55	-0.23±2.90	1.539	0.125
<i>F</i>		1.445		4.070		0.163		
<i>P</i>		0.237		0.018		0.850		
BMI (kg·m ⁻²)								
<18.5	22	2.38±2.21	12	2.79±2.62	10	1.89±1.60	0.950	0.353
18.5-23.9	245	0.81±2.95	142	1.12±2.89	103	0.39±2.99	1.918	0.056
24.0-27.9	195	-0.12±2.63	127	0.22±2.69	68	-0.74±2.41	2.450	0.015
≥28.0	80	-1.46±2.30	60	-1.31±2.24	20	-1.90±2.48	0.993	0.324
<i>F</i>		19.698		14.733		7.156		
<i>P</i>		<0.01		<0.01		<0.01		

3 讨论

酸雾暴露已被证实会对人体口腔和肺部造成损伤^[1], 目前酸雾暴露与生物衰老的相关研究较少。本研究结果显示: 职业酸雾暴露、吸烟和BMI与BA加速有关联。

SBP、Hs-CRP和CR等10种指标是反映机体心血管、免疫及肝肾功能的临床生物标志物, 以此计算得到的KDM-BA已被证实对疾病风险和死亡率具有高度预测性, 可以作为寿命的生物标志物评估抗衰老干预和疗法在人群中的有效性^[11-12]。本研究使用CHNS数据库构建KDM-BA所需的模型参数, 并在中国职业酸雾暴露人群中应用了复合衰老指标, 基于BA的性别差异, 分性别建模^[15]。

研究^[16]发现: 暴露组在机体机能上更具有衰老的特征, 存在衰老加速, 酸雾暴露会促进衰老的发生。其他职业有害因素同样被证实与衰老存在明显关联。FU等^[17]发现: 多环芳烃暴露与衰老加剧

有关。金属和内分泌干扰化学物质(endocrine-disrupting chemicals, EDC)暴露时对BA加速和衰老相关疾病存在潜在不利影响^[18-19]。CURTIS等^[20]发现: 多溴联苯与表观遗传年龄和表型年龄加速有关。机体暴露于酸雾后促进炎性因子释放增加和氧化抗氧化机制失衡, 最终导致肺损伤的发生发展^[2]。酸雾在机体内的长期留存可能加速了机体各器官的衰老, 应着重于加强一级预防。本研究结果显示: 与对照组比较, <40岁年龄段暴露人群BA加速明显升高, 酸雾暴露对年轻人群的BA加速作用效应更强。可能基于“健康工人效应”的人口统计学现象, 长期受到酸雾危害的工人调离工作岗位, 一线作业工人为相对更健康的个体, 入职时间较短的工人发生了更加明显的BA加速^[21]。在不同人群特征下, 与对照组比较, 暴露组工龄4~7年的人群中BA加速明显升高, 可能是由于工龄较短的人群接触酸雾暴露时间较短, 工龄较长的工人由于身体受到损伤而调离工作岗位, 留在岗位的工人多为相对

表4 BA加速的影响因素
Tab. 4 Influencing factors of BA acceleration

Model	$\beta(95\%CI)$	Wald/ χ^2	P
Age(year)	0.00(-0.03, 0.03)	0.017	0.895
Length of service(year)	-0.01(-0.04, 0.03)	0.177	0.674
Exposure			
Yes	0.72(0.24, 1.21)	8.632	0.003
No	Reference value		
Nation			
Han	0.01(-0.65, 0.67)	0.001	0.970
Other	Reference value		
Residence			
Rural	0.26(-0.43, 0.95)	0.540	0.462
City	Reference value		
Marital status			
Single	-0.39(-1.64, 0.86)	0.372	0.542
Married	-0.18(-1.36, 1.01)	0.086	0.770
Other	Reference value		
Educational level			
Low	Reference value		
High	-0.03(-0.51, 0.45)	0.013	0.909
Smoking			
Yes	0.59(0.11, 1.06)	5.914	0.015
No	Reference value		
Drinking alcohol			
Yes	-0.06(-0.54, 0.43)	0.053	0.819
No	Reference value		
Physical exercise(times·week ⁻¹)			
<1	Reference value		
1—3	0.23(-0.28, 0.75)	0.787	0.375
≥4	0.03(-0.57, 0.63)	0.009	0.924
Sleep duration(h)			
<6	Reference value		
6—7	0.64(-0.28, 1.56)	1.844	0.175
≥8	0.49(-0.47, 1.44)	0.991	0.319
BMI(kg·m ⁻²)	-0.29(-0.35, -0.22)	74.967	<0.01

The model included exposure, age, total length of service, ethnicity, place of residence, marital status, education level, smoking, alcohol consumption, physical exercise, sleep duration, and BMI.

更健康的人群。酸雾暴露的危害在于其对人体的长期慢性损伤, 工龄4~7年的工人接触酸雾时间长, 更易发现酸雾暴露对机体的危害。

吸烟和BMI同样是BA加速的危险因素。CUI等^[22]发现: 早期暴露烟草和开始吸烟的年龄均与加速衰老有关。香烟烟雾是肺纤维化的强危险因素, 也是促衰老因素, 吸烟产生的烟雾会导致人类白细胞和口腔上皮细胞的端粒长度缩短^[23-25]。肥胖

通常与慢性疾病有关。本研究结果显示: 随着BMI升高, 不同BMI研究对象BA加速明显降低。可能源于肥胖悖论现象, 且该现象可能取决于肥胖的程度^[26]。研究^[27]显示: 适度脂肪堆积可对抗有毒物质暴露, 对衰老加速方面产生有利作用。因此, 应当对酸雾作业工人加强吸烟等不健康行为的健康危害知识教育, 合理控制BMI, 可能有利于延缓衰老。

综上所述, 职业酸雾暴露可能加速作业工人生物衰老, 酸雾是加速机体生物衰老的危险因素。

利益冲突声明:

所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献声明:

吴维超和郭燕参与研究选题、数据整理及论文撰写, 赵祥凯、谷志广、郭怡佳、蓝子鹏和黄惠参与数据收集及统计学分析, 匡蕾、张明、胡东生和杨永利参与研究设计, 王威和陈金茹参与研究设计、论文撰写指导及论文审校。

[参考文献]

- [1] 邓蕾. 职业性酸雾作业人员职业健康体检结果分析[J]. 大家健康(下旬版), 2017, 11(7): 28-29.
- [2] 赵彩红, 沙德潜, 刘洪琪. 盐酸酸雾吸入性肺损伤大鼠模型的建立与评价[J]. 武警后勤学院学报(医学版), 2016, 25(11): 873-876.
- [3] 王思琴, 宋丽红. 1例盐酸酸雾中毒致肺水肿并发认知功能障碍分析[J]. 工业卫生与职业病, 2023, 49(5): 480.
- [4] 黄杰, 毛姣姣, 古月瑜, 等. 丹酚酸B通过PI3K/AKT/mTOR信号通路对衰老巨噬细胞生物学功能的影响研究[J]. 新中医, 2024, 56(12): 197-203.
- [5] KAHL V F S, SILVA J D. Inorganic elements in occupational settings: a review on the effects on telomere length and biology [J]. *Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen*, 2021, 872: 503418.
- [6] SOUZA M R, GARCIA A L H, DALBERTO D, et al. Multiple factors influence telomere length and DNA damage in individuals environmentally exposed to a coal-burning power plant [J]. *Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen*, 2024, 898: 503793.
- [7] 马一楷, 王耿, 刘彩霞. 1990—2019年中国归因于吸烟因素的食管癌疾病负担分析[J]. 中山大学学报(医学科学版), 2024, 45(4): 593-601.
- [8] 刘玉洁, 王喆, 毛倩, 等. 基于纵向数据的谷氨酰转氨酶水平与代谢综合征的关联性分析[J]. 郑州大学学报(医学版), 2022, 57(02): 186-190.
- [9] 席玉宝. 体育锻炼概念及其方法系统的研究[J]. 北京体育大学学报, 2004, 27(1): 118-120.
- [10] KLEMERA P, DOUBAL S. A new approach to the concept and computation of biological age [J]. *Mech Ageing Dev*, 2006, 127(3): 240-248.
- [11] LIU Z Y. Development and validation of 2 composite aging measures using routine clinical biomarkers in the Chinese population: analyses from 2 prospective cohort studies [J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2021, 76(9): 1627-1632.
- [12] JIN S Y, LI C X, CAO X Q, et al. Association of lifestyle with mortality and the mediating role of aging among older adults in China [J]. *Arch Gerontol Geriatr*, 2022, 98: 104559.
- [13] 常虹, 田国祥, 柳青青, 等. CHNS数据库架构及数据申请提取方法与流程 [J]. 中国循证心血管医学杂志, 2018, 10(9): 1043-1047.
- [14] 陈鸿祥, 蔡佳洁, 魏君, 等. 中老年群体酒精戒断与生物衰老加速的关系: 基于英国生物银行数据库的研究 [J]. 四川大学学报(医学版), 2024, 55(2): 353-359.
- [15] HÄGG S, JYLHÄVÄ J. Sex differences in biological aging with a focus on human studies [J]. *eLife*, 2021, 10: e63425.
- [16] 向毅, 陈鸿祥, 徐浩, 等. 饮用咖啡与生物衰老的关系: 一项基于英国生物银行的横断面研究 [J]. 现代预防医学, 2023, 50(15): 2731-2736.
- [17] FU Z Q, ZHANG X L, ZHONG C Y, et al. Association between single and mixed exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and biological aging [J]. *Front Public Health*, 2024, 12: 1379252.
- [18] WANG C M, HONG S R, GUAN X, et al. Associations between multiple metals exposure and biological aging: evidence from the Dongfeng-Tongji cohort [J]. *Sci Total Environ*, 2023, 861: 160596.
- [19] HUANG W C, ZHANG Z L, COLUCCI M, et al. The mixed effect of Endocrine-Disrupting chemicals on biological age Acceleration: Unveiling the mechanism and potential intervention target [J]. *Environ Int*, 2024, 184: 108447.
- [20] CURTIS S W, COBB D O, KILARU V, et al. Environmental exposure to polybrominated biphenyl (PBB) associates with an increased rate of biological aging [J]. *Aging*, 2019, 11(15): 5498-5517.
- [21] CHOWDHURY R, SHAH D, PAYAL A R. Healthy worker effect phenomenon: revisited with emphasis on statistical methods-A review [J]. *Indian J Occup Environ Med*, 2017, 21(1): 2-8.
- [22] CUI F P, TANG L X, LI D K, et al. Early-life exposure to tobacco, genetic susceptibility, and accelerated biological aging in adulthood [J]. *Sci Adv*, 2024, 10(18): ead13747.
- [23] ZHANG Y, HUANG W H, ZHENG Z M, et al. Cigarette smoke-inactivated SIRT1 promotes autophagy-dependent senescence of alveolar epithelial type 2 cells to induce pulmonary fibrosis [J]. *Free Radic Biol Med*, 2021, 166: 116-127.
- [24] BABIZHAYEV M A, SAVEL' YEVA E L, MOSKVINA S N, et al. Telomere length is a biomarker

- of cumulative oxidative stress, biologic age, and an independent predictor of survival and therapeutic treatment requirement associated with smoking behavior[J]. *Am J Ther*, 2011, 18(6): e209-e226.
- [25] DEB S, BEREI J, MILIAVSKI E, et al. The effects of smoking on telomere length, induction of oncogenic stress, and chronic inflammatory responses leading to aging[J]. *Cells*, 2024, 13(11): 884.
- [26] YE L Z, JIANG X H, CHEN L P, et al. Moderate body lipid accumulation in mice attenuated benzene-induced hematotoxicity via acceleration of benzene metabolism and clearance[J]. *Environ Int*, 2023, 178: 108113.
- [27] YANG B, JIA Y Y, YAN M Q, et al. Moderate BMI accumulation modified associations between blood benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) and phenotypic aging: mediating roles of inflammation and oxidative stress [J]. *Environ Pollut*, 2024, 360: 124669.