

· 论 著 ·

耐火陶瓷纤维对作业工人肺小气道功能的影响

谷一硕¹, 马文军¹, 朱晓俊², 王鸿飞², 肖培², 陈娟¹, 岑亚财¹, 李涛²

(1. 北京大学公共卫生学院, 北京 100191; 2. 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所, 北京 100050)

摘要: **目的** 探讨耐火陶瓷纤维对作业工人肺小气道功能的影响。**方法** 选择从事耐火陶瓷纤维生产和加工的77名作业工人作为接触组, 80名不接触耐火陶瓷纤维和其他职业有害因素的工人作为对照组。接触组分别按纤维计数浓度 ≤ 0.5 f/ml、 > 0.5 f/ml, 按总粉尘质量浓度 ≤ 5 mg/m³、 > 5 mg/m³各分为低、高两个接触水平; 按纤维计数浓度分组, 低接触组62人、高接触组15人; 按总粉尘质量浓度分组, 低接触组47人、高接触组30人。测定研究对象肺小气道通气功能, 最大呼气中期流量(MMEF)、用力呼气50%肺活量的瞬间流量(V_{50})和用力呼气75%肺活量呼气流速(V_{25}), 均以实测值占预计值的百分比表示。应用方差分析、卡方检验和非条件Logistic回归模型分析不同接触特征、接触时间对作业工人肺小气道功能的影响及可能的危险因素。**结果** 作业工人 $V_{50}\%$ 、 $V_{25}\%$ 和MMEF%水平随纤维计数浓度接触水平的增高而降低, 但差异无统计学意义($P>0.05$); $V_{25}\%$ 、MMEF%异常的检出率随纤维接触水平升高而增加, 并呈线性趋势关系($P_{趋势}<0.05$)。总粉尘高接触组 $V_{50}\%$ 、 $V_{25}\%$ 和MMEF%水平明显低于总粉尘低接触组和对照组($P<0.05$), $V_{50}\%$ 、 $V_{25}\%$ 和MMEF%异常率均明显高于总粉尘低接触组和对照组($P<0.05$)。小气道功能障碍在总粉尘高接触组的检出率为33.3%, 高于对照组(10.0%)和总粉尘低接触组(8.5%)($P<0.05$)。工人肺小气道功能障碍与其总粉尘接触水平有关($OR=2.115$, $P<0.05$), 与接触纤维计数浓度、工龄和吸烟状态无关($P>0.05$)。**结论** 接触耐火陶瓷纤维可以导致作业工人肺小气道功能降低, 总粉尘接触浓度较高的作业环境可以显著增加作业工人小气道功能障碍的发生率。

关键词: 耐火陶瓷纤维; 肺小气道功能; 总粉尘质量浓度; 纤维计数浓度

中图分类号: R135.2 文献标识码: A 文章编号: 1002-221X(2017)06-0410-06 DOI: 10.13631/j.cnki.zggyyx.2017.06.001

Effects of refractory ceramic fibers on workers' small airway function

Gu Yishuo*, Ma Wenjun, Zhu Xiaojun, Wang Hongfei, Xiao Pei, Chen Juan, Cen Yacai, Li Tao

(*. School of Public Health School, Peking University, Beijing 100191, China)

Abstract: Objective To explore the effects of refractory ceramic fibers (RCFs) on workers' small airway function. **Methods** This study enrolled 77 manufacturing and processing workers as the exposure group and another 80 workers neither exposed to RCFs nor other occupational toxicants as the control group. Low and high exposure subgroups were divided by the number concentration of fiber ≤ 0.5 f/ml, > 0.5 f/ml and by the gravimetric concentration of total dust ≤ 5 mg/m³, > 5 mg/m³. According to the actual exposure level of fiber, 62 exposed workers were classified as low fiber exposure level, 15 exposed workers were classified as high fiber exposure level. According to the actual exposure level of total dust, 47 exposed workers were classified as low total dust exposure level, 30 exposed workers were classified as high total dust exposure level. All subjects accepted pulmonary function test. Maximal mid expiratory flow (MMEF), forced expiratory flow after 50% of the FVC has been exhaled (V_{50}), forced expiratory flow after 75% of the FVC has been exhaled (V_{25}) were measured as small airway function indicators. Analyses of variance, chi-square tests, and unconditioned logistic regression analyses were used to analysis positive rates of small airway dysfunction and influence factors of RCFs workers with different exposure features and difference exposure years. **Results** Mean values of $V_{50}\%$, $V_{25}\%$, and MMEF% were increased along with the fiber exposure level, but there were no statistically significant difference ($P>0.05$). Abnormal rates of $V_{25}\%$ and MMEF% showed a positive linear relationship with the fiber exposure level ($P_{trend}<0.05$). Compared with the control group and low total dust exposure level group, high total dust exposure level group had significantly lower mean values of $V_{50}\%$, $V_{25}\%$, and MMEF% ($P<0.05$) and correspondingly had significant higher abnormal rates of $V_{50}\%$, $V_{25}\%$, and MMEF% ($P<0.05$). High total dust exposure level group (33.3%) also had significant higher positive rates of small airway dysfunction than the control group (10.0%) and low total dust exposure level group (8.5%) ($P<0.05$). The small airway dysfunction was associated with the gravimetric concentration of total dust

收稿日期: 2017-09-29

基金项目: 北京市自然科学基金资助项目(编号: 7152104)

作者简介: 谷一硕(1993—), 女, 硕士研究生; 研究方向: 职业卫生学。

通信作者: 马文军, 副教授, E-mail: mawenjun@bjmu.edu.cn; 朱晓俊, 副研究员, E-mail: happyzhuxj@163.com。

($OR=2.115$, $P<0.05$), but was not related to the number concentration of fiber, the exposure years and smoking habit ($P>0.05$). **Conclusion** Exposure to RCFs can harm the pulmonary small airway function. The high concentration of total dust in workplace can significantly increase the incidence of small airway dysfunction of RCFs exposed workers.

Key words: refractory ceramic fibers; small airway function; gravimetric concentration of total dust; number concentration of fiber

耐火陶瓷纤维 (refractory ceramic fibers, RCFs) 是一组非晶体结构并以硅铝作为主要成分的无机合成纤维, 与岩棉、矿渣棉、玻璃棉和玻璃纤维等同属于人造矿物纤维的范畴^[1]。耐火陶瓷纤维具有低热导率、低热储量、良好的耐热震性、重量轻、耐腐蚀性好、容易折叠安装的特点, 其最高使用温度可达 1 430 °C, 是重要的保温隔声材料, 已在我国和许多国家大量生产和使用^[2]。由于耐火陶瓷纤维的尺寸与呼吸性纤维相近且在肺组织中降解缓慢, 进入呼吸系统后可能会引起肺部炎症反应和相关健康损害^[3,4]。根据已有的动物实验和流行病学研究, IARC 在 1988 年和 2002 年两次将耐火陶瓷纤维列为 2B 类 (可疑人类致癌物)^[5]。但目前对于耐火陶瓷纤维的非致癌效应, 如肺功能改变、肺纤维化和胸膜改变等的研究尚无定论。因此耐火陶瓷纤维的安全使用及其对人体健康的影响一直是国内外关注的热点^[1]。本课题组前期的研究发现^[6], 耐火陶瓷纤维接触工人中限制性通气功能障碍的发生率高于非接触人群, 提示耐火陶瓷纤维接触可能会引起作业工人肺功能改变。小气道功能作为反映肺功能改变的早期指标被应用于尘肺和石棉肺的研究^[7-9], 但目前对耐火陶瓷纤维接触工人小气道功能的研究较少, 本研究主要探讨耐火陶瓷纤维对作业工人肺小气道功能的影响, 为职业接触限值的制定和职业监护检查项目的确定提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 对象

选择山东省某耐火材料公司作为研究现场, 该公司生产和加工耐火陶瓷纤维的车间主要包括高温纤维车间 (包括硅酸铝车间、硅酸镁车间、喷吹车间和外贸车间)、纺织车间和模块车间。本研究纳入 77 名耐火陶瓷纤维作业工人作为接触组, 其中高温纤维车间 47 人、纺织车间 15 人、模块车间 15 人。以工龄和性别作为匹配因素, 选择该企业中 80 名不接触耐火陶瓷纤维和其他职业有害物质的工人作为对照组。

参考国外已有的耐火陶瓷纤维职业接触限值 (总粉尘容许浓度和纤维容许浓度)^[1,10], 对接触组工人再按总粉尘质量浓度 $\leq 5 \text{ mg/m}^3$ 、 $>5 \text{ mg/m}^3$, 按纤维计数浓度 $\leq 0.5 \text{ f/ml}$ 、 $>0.5 \text{ f/ml}$ 各分为低、高两个接触水平

组。我们在前期研究中已测定了该厂不同车间不同岗位耐火陶瓷纤维作业工人的职业接触浓度^[11,12]: 高温纤维车间工人接触的纤维计数浓度平均值为 0.19 f/ml, 总粉尘质量浓度平均值为 2.56 mg/m³; 纺织车间工人接触的纤维计数浓度平均值为 0.20 f/ml, 总粉尘质量浓度平均值为 7.06 mg/m³; 模块车间工人接触的纤维计数浓度平均值为 0.73 f/ml, 总粉尘质量浓度平均值为 7.74 mg/m³。按纤维计数浓度分组, 低接触水平组有 62 人, 高接触水平组有 15 人; 按总粉尘质量浓度分组, 低接触水平组有 47 人, 高接触水平组有 30 人。作业工人佩戴的防护用品有纱布口罩和纱线手套。对两组观察对象进行既往病史问卷调查, 所有研究对象均未曾患慢性支气管炎、肺气肿和哮喘等影响肺通气功能的疾病, 且进行小气道功能检查前一周内均未患过感冒。

1.2 问卷调查

问卷调查内容包括人口学基本信息 (性别、年龄等)、吸烟情况 (吸烟指每天吸 1 支烟至少 1 年以上或曾经的吸烟总量已超过 20 包)、职业史和职业危害接触史 (工种、岗位、总工龄、接触耐火陶瓷纤维工龄等)、班制、工作内容和时间、个人防护用品的使用和佩戴情况等。

1.3 肺小气道功能检查

本研究使用 Master Screen Pneumo 肺功能仪 (Carefusion 公司, 美国), 按照《职业健康监护技术规范》(GBZ 188—2014) (附录 B)^[13] 和肺功能仪操作指南, 测定研究对象小气道功能。测量指标为最大呼气中期流量 (maximal mid expiratory flow, MMEF)、用力呼气 50% 肺活量的瞬间流量 (forced expiratory flow after 50% of the FVC has been exhaled, V_{50})、用力呼气 75% 肺活量呼气流速 (forced expiratory flow after 75% of the FVC has been exhaled, V_{25})。为消除年龄、体重和身高等因素对肺功能各测量值的影响, 各项指标均以实测值占预计值的百分比 (MMEF%、 $V_{50}\%$ 、 $V_{25}\%$) 表示。各指标预计值计算公式见表 1。当各指标实测值与预测值之比低于 65% 时判定为该指标异常; 当 3 项指标与其预计值之比中至少有 2 项指标小于 65% 时, 则判定为小气道功能障碍^[13]。

表1 小气道功能指标 V_{50} 、 V_{25} 、MMEF 预计值计算公式 (欧洲呼吸学会, 1993)

指标	男	女
V_{50}	$0.0379 \times (\text{身高} \times 100) - 0.031 \times \text{年龄} - 0.35$	$0.0245 \times (\text{身高} \times 100) - 0.025 \times \text{年龄} + 1.16$
V_{25}	$0.0261 \times (\text{身高} \times 100) - 0.026 \times \text{年龄} - 1.34$	$0.0105 \times (\text{身高} \times 100) - 0.025 \times \text{年龄} + 1.11$
MMEF	$0.0194 \times (\text{身高} \times 100) - 0.043 \times \text{年龄} + 2.70$	$0.0125 \times (\text{身高} \times 100) - 0.034 \times \text{年龄} + 2.92$

1.4 统计学分析

采用 EpiData 3.1 建立数据库, 使用 SPSS 19.0 进行统计分析。定量资料使用均数和标准差进行描述, 两组间比较采用 t 检验, 多组间比较采用方差分析, 两两比较采用最小显著差异法 (LSD); 定性资料使用频数及百分率表示, 组间比较采用 χ^2 检验。采用二项 Logistic 回归进行多因素分析探讨影响小气道功能的因素, 选用后退法筛选自变量。后退法筛选自变量时取 $\alpha=0.05$ 、 $\beta=0.1$ 为界值, 其余均取 $\alpha=0.05$ 为界值。

2 结果

2.1 一般情况

接触组工人平均年龄 (36.08 ± 5.99) 岁, 平均工龄 (10.33 ± 5.45) 年, 男性 53 名、女性 24 名; 对照组工人平均年龄 (35.75 ± 6.61) 岁, 平均工龄 (9.89 ± 4.67) 年, 男性 62 名、女性 18 名。两组之间的平均年龄、平

均总工龄、性别、吸烟状况和体质指数 (BMI) 等变量均具有较好的可比性 ($P>0.05$)。见表 2。接触组按不同接触特征分组, 高、低纤维接触水平组间性别、吸烟状况、平均接害工龄及接害工龄组间分布的差异均无统计学意义 ($P>0.05$); 高、低总粉尘接触水平组间上述变量的差异也均无统计学意义 ($P>0.05$)。见表 3。

表2 耐火陶瓷纤维接触组与对照组的基本特征

变量	接触组 (77 人)	对照组 (80 人)
年龄 (岁)	36.08 ± 5.99	35.75 ± 6.61
总工龄 (年)	10.33 ± 5.45	9.89 ± 4.67
性别		
男	53 (69%)	62 (77%)
女	24 (31%)	18 (23%)
吸烟		
是	26 (34%)	32 (40%)
否	51 (66%)	48 (60%)
BMI	23.56 ± 3.65	24.17 ± 3.04

表3 耐火陶瓷纤维接触工人不同亚组基本特征

变量	纤维接触水平		总粉尘接触水平	
	低接触水平 ($\leq 0.5 \text{ f/ml}$, 62 人)	高接触水平 ($> 0.5 \text{ f/ml}$, 15 人)	低接触水平 ($\leq 5 \text{ mg/m}^3$, 47 人)	高接触水平 ($> 5 \text{ mg/m}^3$, 30 人)
平均接害工龄 (年)	10.62 ± 5.20	9.13 ± 6.41	10.73 ± 5.39	9.67 ± 5.56
接害工龄分布 (年)				
0~5	13 (21%)	4 (27%)	9 (19%)	8 (27%)
6~10	26 (42%)	7 (46%)	18 (38%)	15 (50%)
≥ 11	23 (37%)	4 (27%)	20 (43%)	7 (23%)
性别				
男	42 (68%)	11 (73%)	33 (70%)	20 (67%)
女	20 (32%)	4 (27%)	14 (30%)	10 (33%)
吸烟				
是	21 (34%)	5 (33%)	18 (38%)	8 (27%)
否	41 (66%)	10 (67%)	29 (62%)	22 (73%)

2.2 小气道功能指标

按纤维接触水平分组, $V_{50}\%$ 、 $V_{25}\%$ 和 MMEF% 水平随接触水平的提高而降低, 但差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。按总粉尘接触水平分组, 高接触组中 $V_{50}\%$ 、 $V_{25}\%$ 和 MMEF% 水平明显低于低接触组和对照组 ($P<0.05$)。按接害工龄分组, $V_{50}\%$ 、 $V_{25}\%$ 和 MMEF% 水平在不同接触工龄亚组中的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。见表 4。

2.3 小气道功能障碍检出率

按纤维接触水平分组, $V_{25}\%$ 异常低、高接触组的检出率 (11.3%、13.3%) 均高于对照组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$), 且与纤维接触水平呈线性趋

表4 不同分组模式下肺小气道功能各指标实测值与预计值的比值 ($\bar{x} \pm s$)

变量	人数	$V_{50}\%$	$V_{25}\%$	MMEF%
对照组	80	92.05 ± 24.55	97.40 ± 20.43	90.13 ± 23.32
纤维接触水平				
低接触组	62	88.22 ± 28.23	93.17 ± 22.19	86.68 ± 27.00
高接触组	15	83.01 ± 26.78	90.95 ± 26.67	81.40 ± 25.00
总粉尘接触水平				
低接触组	47	93.05 ± 26.90	96.74 ± 18.56	90.38 ± 24.94
高接触组	30	$78.04 \pm 27.32^{* \#}$	$86.46 \pm 27.72^{* \#}$	$78.25 \pm 27.67^{* \#}$
接害工龄 (年)				
0~5	17	89.57 ± 30.79	89.84 ± 23.42	88.70 ± 25.70
6~10	33	88.04 ± 28.87	93.07 ± 21.94	84.58 ± 27.88
≥ 11	27	84.70 ± 26.25	94.15 ± 24.56	85.04 ± 26.20

注: 方差分析组间比较, * $P<0.05$; LSD 法两两比较, # $P<0.05$

势关系 ($P_{趋势} < 0.05$), 异常率随接触水平升高而增高; MMEF%异常的检出率随纤维接触水平升高而增加并呈现线性趋势关系 ($P_{趋势} < 0.05$)。按总粉尘接触水平分组, $V_{50}\%$ 、 $V_{25}\%$ 和MMEF%异常的检出率在高接触组均明显升高 ($P < 0.05$), 且 $V_{25}\%$ 和MMEF%异常率与总粉尘接触水平呈现线性趋势关系 ($P_{趋势} < 0.05$)。按接害工龄分组, 0~5年、6~10年和

≥ 11 年组 $V_{25}\%$ 异常的检出率 (11.8%、9.1%、14.8%) 均高于对照组 ($P < 0.05$); MMEF%异常的检出率随接害工龄的增长而升高并呈现线性趋势关系 ($P_{趋势} < 0.05$)。小气道功能障碍总粉尘高接触组的检出率为33.3%, 高于对照组 (10.0%) 和总粉尘低接触组 (8.5%), 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。见表5。

表5 不同分组模式下小气道功能异常情况

变量	人数	$V_{50}\% < 65\%$		$V_{25}\% < 65\%$		MMEF% < 65%		小气道功能障碍	
		检出人数	检出率 (%)	检出人数	检出率 (%)	检出人数	检出率 (%)	检出人数	检出率 (%)
对照组	80	11	13.8	0	0	8	10.0	8	10.0
纤维接触水平									
低接触组	62	11	17.7	7	11.3	13	21.0	10	16.1
高接触组	15	5	33.3	2	13.3*#	4	26.7#	4	26.7
总粉尘接触水平									
低接触组	47	5	10.6	2	4.3	7	14.9	4	8.5
高接触组	30	11	36.7*	7	23.3*#	10	33.3*#	10	33.3*
接害工龄 (年)									
0~5	17	4	23.5	2	11.8	3	17.6	3	17.6
6~10	33	5	15.2	3	9.1	6	18.2	4	12.1
≥ 11	27	7	25.9	4	14.8*	8	29.6#	7	25.9

注: 经 χ^2 检验, 组间比较, * $P < 0.05$; 经 χ^2 趋势检验, # $P < 0.05$

2.4 小气道功能障碍的影响因素

将纤维接触水平 (X_1)、总粉尘接触水平 (X_2)、接害工龄 (X_3) 和吸烟状况 (X_4) 作为自变量纳入非条件 Logistic 回归模型, 自变量赋值见表6。使用后退

法进行筛选, 最终进入模型的自变量只有总粉尘接触水平 (X_2) ($OR = 2.115$, 95%CI 为 1.198~3.734, $P = 0.014$), 经似然比检验该回归方程有统计学意义 ($P = 0.009$), 其他自变量均未进入模型。见表7。

表6 自变量赋值表

变量	赋值说明
纤维接触水平 (X_1)	0=对照; 1=低接触水平 (≤ 0.5 f/ml); 2=高接触水平 (> 0.5 f/ml)
总粉尘接触水平 (X_2)	0=对照; 1=低接触水平 (≤ 5 mg/m ³); 2=高接触水平 (> 5 mg/m ³)
耐火陶瓷纤维接触工龄 (X_3)	0=对照; 1=0~5年; 2=6~10年; 3=11年以上
吸烟 (X_4)	0=否; 1=是

表7 耐火陶瓷纤维作业工人小气道功能异常影响因素的非条件 Logistic 回归分析 (后退法)

变量	Wald 检验			似然比检验		
	B 值	P 值	OR (95%CI)	χ^2 值	r 值	P 值
未筛选变量的模型				8.725	4	0.068
常数项	-2.350	<0.001	0.095			
X_1	-1.071	0.187	0.343 (0.070, 1.679)			
X_2	1.444	0.019	4.329 (1.270, 14.154)			
X_3	0.073	0.811	1.076 (0.591, 1.960)			
X_4	-0.075	0.883	0.928 (0.340, 2.527)			
变量筛选后的模型				6.798	1	0.009
常数项	-2.448	<0.001	0.086			
X_2	0.749	0.010	2.115 (1.198, 3.734)			

3 讨论

耐火陶瓷纤维是以氧化铝 (Al_2O_3) 和二氧化硅 (SiO_2) 为主要原料, 进行高温熔融后, 经甩丝法或

喷吹法生产得到的无机非晶体纤维^[1], 在生产环境中可经呼吸道进入机体。耐火陶瓷纤维在人造矿物纤维中直径较小, 一般为 1.2~3.5 μm , 在形状、直径

和长度分布上,多数为呼吸性纤维(直径 $<3\ \mu\text{m}$ 、长度 $>5\ \mu\text{m}$ 、且长径比 $>3:1$ 的纤维),因而被吸入肺部且进入肺组织深部的可能性较大^[14,15]。由于耐火陶瓷纤维的主要成分 Al_2O_3 可大大降低纤维的溶解速率,因此吸入后可在肺内滞留较长时间。动物实验表明^[16],大鼠吸入耐火陶瓷纤维277 d后肺部仍有10%的纤维残留,这大大增加了引起肺组织慢性炎症反应和纤维化的可能性。

小气道是指在吸气状态下内径 $\leq 2\ \text{mm}$ 的气道,大多数为细支气管^[17]。小气道阻力仅占气道总阻力的20%,并具有总横截面积大、气流缓慢的特点,利于气体的均匀分布和致病物质的沉积,还易因受外来刺激而明显收缩。由于小气道通气功能主要与其管径大小有关,因此当肺部有外来物质沉积或发生病变,如吸入粉尘或发生哮喘时,小气道往往最先被累及^[18]。已有研究显示^[19],煤工尘肺患者在早期尚未出现肺弥漫功能和残气功能异常时,小气道功能已发生显著变化,且异常率与尘肺期别明显相关。对石棉肺患者的研究发现,在粉尘的长期作用下,作业工人的呼吸系统首先发生小支气管病变,导致小气道阻塞^[7]。以上研究提示,肺小气道功能可作为早期效应指标用于判断耐火陶瓷纤维作业工人呼吸系统的损伤。

本文主要分析了耐火陶瓷纤维接触水平和接触时间对于作业工人肺小气道功能的影响。在接触水平的分析中又分别探讨了纤维接触水平(f/ml)和总粉尘接触水平(mg/m^3)对肺小气道功能的影响。研究对象 $V_{50}\%$ 、 $V_{25}\%$ 和MMEF%的均数随纤维接触水平的递增呈现下降趋势, $V_{50}\%$ 、 $V_{25}\%$ 、MMEF%异常和小气道障碍检出率均随纤维接触水平的递增而升高,且 $V_{25}\%$ 和MMEF%异常率与纤维接触水平的线性趋势有统计学意义。但非条件 Logistic 回归分析未纳入纤维接触水平,提示纤维浓度与小气道功能障碍可能存在较弱的关联。与对照组和总粉尘低接触组相比,总粉尘高接触组作业工人 $V_{50}\%$ 、 $V_{25}\%$ 和MMEF%均数的下降均有统计学意义(均 $P<0.05$),总粉尘高接触组 $V_{50}\%$ 、 $V_{25}\%$ 和MMEF%的异常率和小气道功能障碍的检出率也显著高于对照组和低接触组($P<0.05$),非条件 Logistic 回归模型中只纳入了总粉尘接触水平,提示总粉尘浓度与小气道功能障碍存在较强的关联,总粉尘浓度较高($>5\ \text{mg/m}^3$)的工作环境可以显著增加作业工人小气道功能障碍的发生率。虽然耐火陶瓷纤维接触时间对小气道功能的影响并不具有显著的统计学意义,但从结果中可以观察到 $V_{25}\%$ 的均数及 $V_{50}\%$ 、 $V_{25}\%$ 的异常率和小气道功能障

碍的检出率在受害时间0~5年组和 ≥ 11 年组均有较为明显的升高。小气道阻力在气道阻力中仅占20%^[17],因此小气道功能异常时常规肺通气功能往往仍表现正常,患者可无任何症状^[18]。本研究中小气道功能在接触早期就有较为明显的升高,提示小气道功可作为早期效应指标用于监测耐火陶瓷纤维作业工人的呼吸系统损伤。

本研究以总工龄和性别作为主要匹配因素选择对照组,对照组除不接触耐火陶瓷纤维外其他特征变量与接触组均具有较好的可比性。小气道功能指标均以实测值占预计值的百分比进行表示和分析,消除了年龄、体重和身高等因素的影响。通过既往病史问卷调查也未发现研究对象有感冒、慢性支气管炎、肺气肿和哮喘等影响肺通气功能的疾病。因此,本研究较好地控制了可能由于非职业接触因素造成的混杂偏倚。

本课题组前期的研究发现耐火陶瓷纤维作业工人中限制性通气功能障碍检出率与纤维计数浓度有较强的关联^[6],而本研究发现作业工人的小气道功能障碍检出率与总粉尘质量浓度存在较强的关联。限制性通气功能障碍常见于肺间质或胸膜病变,提示耐火陶瓷纤维中的纤维成分可能主要引起肺间质损伤,从而引起肺通气功能下降。小气道由于管径较小($\leq 2\ \text{mm}$),其功能常受到其直径的影响,故小气道功能异常程度常和粉尘颗粒沉积量及周围炎症反应情况密切相关^[19],提示耐火陶瓷纤维中的颗粒物成分被吸入人体后可能主要沉积在小气道,并刺激呼吸道引起炎症细胞浸润和炎症反应,从而引起小气道堵塞和通气功能下降。

作为一类特殊的粉尘,包括耐火陶瓷纤维在内的纤维物质在职业接触水平的表征上一直存在纤维计数浓度(f/ml)和总粉尘质量浓度(mg/m^3)两种表示单位^[20]。由于耐火陶瓷纤维中不同的成分引起的健康效应不同,应同时制定纤维计数浓度和总粉尘质量浓度的职业接触限值,并考虑将小气道通气功能作为制定总粉尘容许浓度时参考的关键效应和早期效应指标。在开展职业健康监护时,应将肺小气道功能测定作为检查项目之一,并加强对高总粉尘接触水平作业工人肺小气道功能的监护。

参考文献:

- [1] NIOSH. Criteria for a recommended standard: occupational exposure to refractory ceramic fibers [M]. Cincinnati: NIOSH-Press, 2006: 97.
- [2] Utell MJ, Maxim LD. Refractory ceramic fiber (RCF) toxicity and epidemiology: a review [J]. Inhal Toxicol, 2010, 22 (6): 500-521.

表 4 某男性机场搬运人员 WMSDs 问卷调查结果

二级指标	三级指标	分值	二级指标	三级指标	分值
行李因素	手工搬运行李重量标准不明确	0.75	工作因素	每天连续工作时间 ≥ 4 h	0.50
	行李形状多不规则	0.75		飞机货舱空间狭小	1.00
	没有有效执行手工搬运行李重量标准	0.75		手工搬运作业设施少	0.50
	行李普遍偏大	0.75		没有维护手工搬运作业设施	0.25
	搬运高度多为腰至肩部之间	0.75	心理因素	同事关系和谐	0
	搬运水平距离多为 0~3 m	0.50		工作压力小	0
	搬运时常身体扭转	0.50		情绪和心理控制能力佳	0
	搬运频率频繁	1.00		个人期望不高	0
生理因素	行李的可抓握性差	0.75	环境因素	性格特征开朗外向	0
	年龄 40 岁	0.75		没有个体防护用品	1.00
	BMI 值 27	0.75		没有及时的轻症处理	0.75
	有腰肌劳损慢性病	0.75		没有标注行李的实际重量	0.75
	平时锻炼少	0.50		没有适当的搬运姿势培训	0.75

通过对某机场手工搬运作业人员肌肉骨骼损伤风险模糊综合评判的实例分析,说明该方法有效可行,可量化确定民航手工搬运作业人员 WMSDs 风险等级水平,快速有效实现 WMSDs 综合状况的自评,从而为相关单位制定合理的工作计划、行李重量限制和疗养保健制度提供可靠的参考和依据。结合民航手工搬运作业人员肌肉骨骼损伤风险特征,深入探索 WMSDs 致因机制与控制措施,将是下一步重点研究的方向。

参考文献:

- [1] 张文科,陈延平.工业中的下背痛[J].中国工业医学杂志,1994,17(1):33-35.
- [2] Lu ML, Waters TR, Krieg E, et al. Efficacy of the revised NIOSH lifting equation to predict risk of low-back pain associated with manual lifting: A one-year prospective study [J]. Journal of occupational & Environmental Medicine, 2014, 53 (9): 1061-1067.
- [3] 唐历华,王忠旭,张蔚,等. BRIEF 和 PLIBEL 方法在评价航空搬运工人肌肉骨骼疾患中的应用 [J]. 中国工业医学杂志, 2016, 29 (4): 244-248.
- [4] 牛丽,陈珂,程媛.改进的层次分析法在就业综合评价中的应用 [J]. 计算机仿真, 2011, 28 (5): 376-379.

(上接第 414 页)

- [3] Mast RW, Maxim LD, Utell MJ, et al. Refractory ceramic fiber: toxicology, epidemiology, and risk analyses—a review [J]. Inhal Toxicol, 2000, 12 (5): 359-399.
- [4] 张敏,张幸.耐火陶瓷纤维流行病学和毒理学研究进展 [J]. 环境与职业医学, 2013, 30 (1): 63-66.
- [5] IARC. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: man-made vitreous fibers [M]. Lyon: IARC-Press, 2002.
- [6] 朱晓俊,李涛,王鸿飞.耐火陶瓷纤维对作业工人肺通气功能的影响 [J]. 环境与职业医学, 2015, 32 (5): 399-403.
- [7] 梁崑.多层 CT 对石棉肺的肺功能与小气道早期改变研究 [D]. 天津医科大学, 2015.
- [8] 刘月红,潘宝忠,相葵,等.尘肺病早期小气道功能测定分析 [J]. 海峡预防医学杂志, 2013, 19 (5): 92-93.
- [9] 孔令星,连理云,李筱玲.煤工尘肺小气道功能损害的情况分析 [J]. 中国城乡企业卫生, 2014, 29 (3): 43-44.
- [10] ACGIH. Threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices [M]. Cincinnati, Ohio: American Conference of Governmental Cincinnati, Ohio: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2014: 55.
- [11] 朱晓俊,李涛,王鸿飞.耐火陶瓷纤维粉尘质量浓度与纤维计数浓度的关系 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2015, 33 (4): 309-312.
- [12] 朱晓俊,李涛,王鸿飞,等.耐火陶瓷纤维作业工人纤维粉尘职业

接触水平分析 [J]. 中国工业医学杂志, 2015, 28 (2): 98-101.

- [13] 郑劲平,高怡.肺功能检查使用指南 [M]. 北京:人民卫生出版社, 2009: 61-73.
- [14] Maxim LD, Hadley JG, Potter RM, et al. The role of fiber durability/biopersistence of silica-based synthetic vitreous fibers and their influence on toxicology [J]. Regul Toxicol Pharmacol, 2006, 46 (1): 42-62.
- [15] WHO. Determination of Airborne Fiber Number Concentrations: A Recommended Method, by Phase Contrast Optical Microscopy (Membrane Filter Method) [S]. Geneva: World Health Organization, 1997: 1-47
- [16] Bernstein DM. Synthetic vitreous fibers: a review toxicology, epidemiology and regulations [J]. Crit Rev Toxicol, 2007, 37 (10): 839-886.
- [17] 张丽萍,代华平,逯勇,等.特发性间质性肺炎小气道功能异常研究 [J]. 中国实用内科杂志, 2010, 30 (8): 745-747.
- [18] 朱蕾,刘莉.小气道功能在支气管哮喘和慢性阻塞性肺疾病的意义 [J]. 中国呼吸与危重监护杂志, 2008, 8 (3): 163-164.
- [19] 周绍权.早期煤工尘肺 HRCT 分期及肺功能异常分析 [D]. 重庆医科大学, 2013.
- [20] 朱晓俊,陈永青,李涛.人造矿物纤维绝热棉对人体健康效应的研究进展 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2011, 29 (7): 553-556.