

2016年苏州市工业园区苯与X射线联合作业人员的职业健康检查结果分析

Analysis of occupational health examination results of benzene and X-ray combination workers in Suzhou Industrial Park in 2016

Qiu Jing, Gao Weimin, Yang Weiwei, Gu Weiguo

引用本文:

邱晶, 高为民, 杨维维, 等. 2016年苏州市工业园区苯与X射线联合作业人员的职业健康检查结果分析[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2022, 46(7): 448-454. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202109017-00200

Qiu Jing, Gao Weimin, Yang Weiwei, et al. Analysis of occupational health examination results of benzene and X-ray combination workers in Suzhou Industrial Park in 2016[J]. *International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine*, 2022, 46(7): 448-454. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202109017-00200

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202109017-00200>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

杭州市CT检查中医疗照射与职业照射水平的研究

Level of medical and occupational exposures in CT examination in Hangzhou

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(6): 357-363 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202007003-00066>

双能X线吸收法在肌少症诊治中的研究进展

Research progress of dual energy X-ray absorptiometry in sarcopenia

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(4): 267-272 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201812028-00011>

双能X射线吸收测定法测量身体成分的应用及研究进展

Advances in the application and research of dual energy X-ray absorptiometry in measuring body compositions

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(9): 594-599 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201905005-00069>

X射线诱导非小细胞肺癌A549细胞凋亡的适应性反应及相关miRNA筛选的研究

Adaptive response of NSCLC A549 cells induced by X-ray radiation and screening of related miRNAs

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(9): 576-584 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202011045-00074>

低剂量电离辐射职业接触人群的健康效应研究进展

Research progress in the health effects of radiation workers induced by low-dose ionizing radiation

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(8): 534-540 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201904013-00050>

DXA椎体骨折评估联合腰椎侧位骨密度诊断老年性骨质疏松的临床研究

Clinical evaluation of dual energy X-ray absorptiometry in the diagnosis of senile osteoporosis by lateral lumbar bone mineral density and vertebral fracture

国际放射医学核医学杂志. 2018, 42(1): 36-40 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.01.007>

·临床研究·

2016年苏州市工业园区苯与X射线联合作业人员的职业健康检查结果分析

邱晶¹ 高为民² 杨维维² 顾卫国¹

¹苏州大学附属广济医院医学影像科, 苏州 215131; ²苏州工业园区疾病防治中心体检中心, 苏州 215101

通信作者: 顾卫国, Email: gwgszgj@126.com

【摘要】 目的 分析2016年苏州市工业园区苯与X射线联合作业人员的职业健康检查结果, 为其职业防护提供理论依据。方法 选取2016年在苏州工业园区疾病防治中心进行职业健康检查的219名受检人员为调查对象开展回顾性研究, 其中, 苯作业人员64名、X射线作业人员52名、苯与X射线联合作业人员50名、无职业病危害因素接触史人员53名(对照组)。通过问卷调查收集受检人员的基本情况。通过溶剂解吸-气相色谱法检测工作场所空气中的苯系物浓度, 检测工作场所X射线的周围剂量当量率和受检人员的个人有效剂量, 判断职业病危害因素是否超过接触限值。对受检人员进行职业健康检查, 包括内科检查、血常规检查、甲状腺功能检查、淋巴细胞染色体微核率测定、晶状体浑浊情况检查等, 比较不同作业人群职业健康检查结果的差异。计量资料2组间比较采用独立样本 t 检验和最小显著性差异法 t 检验, 多组间比较采用单因素方差分析和Kruskal-Wallis H 检验; 计数资料的组间比较采用Pearson χ^2 检验或Fisher确切概率法。结果 X射线作业组、苯与X射线联合作业组人员的年龄均大于对照组, 且差异均有统计学意义[(29.8±4.4)岁对(27.8±4.5)岁、(30.3±3.6)岁对(27.8±4.5)岁, $t=-2.015$ 、 -2.546 , 均 $P<0.05$]。X射线作业组、苯与X射线联合作业组人员的人均年有效剂量以及工作场所X射线的周围剂量当量率, 苯作业组、苯与X射线联合作业组人员的苯时间加权平均容许浓度均低于规定限值。苯作业组人员的红细胞(RBC)计数和血红蛋白水平, X射线作业组人员的血红蛋白水平和淋巴细胞计数, 苯与X射线联合作业组人员的血红蛋白水平、白细胞计数、淋巴细胞计数和血小板计数均低于对照组, 且差异均有统计学意义($t=-0.747\sim-62.388$, 均 $P<0.05$); 苯与X射线联合作业组人员的RBC计数高于苯作业组, 淋巴细胞计数低于苯作业组, 且差异均有统计学意义($t=-38.298$ 、 0.230 , 均 $P<0.01$)。相较于对照组, X射线作业组、苯与X射线联合作业组人员的血清游离三碘甲状腺原氨酸(FT₃)水平较低, 血清游离甲状腺素(FT₄)水平较高, 且差异均有统计学意义($t=-42.441\sim-18.997$, 均 $P<0.05$); 苯与X射线联合作业组人员的血清FT₃水平高于X射线作业组, 且差异有统计学意义($t=-23.662$, $P<0.01$)。对照组、X射线作业组、苯与X射线联合作业组人员外周血淋巴细胞染色体微核率间的差异无统计学意义($H=1.268$, $P>0.05$)。X射线作业组人员晶状体浑浊的发生率高于对照组, 且差异有统计学意义($\chi^2=7.644$, $P<0.01$)。结论 苯联合X射线对作业人员的血常规指标、甲状腺功能指标、淋巴细胞染色体微核率及晶状体浑浊情况有一定程度的影响, 且两者可能表现出一定的联合效应, 应加强对苯与X射线联合作业人员的辐射防护及健康监测。

【关键词】 苯; X线; 辐射防护; 职业健康检查; 联合效应

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202109017-00200](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202109017-00200)

Analysis of occupational health examination results of benzene and X-ray combination workers in Suzhou Industrial Park in 2016

Qiu Jing¹, Gao Weimin², Yang Weiwai², Gu Weiguo¹

¹Department of Medical Imaging, the Affiliated Guangji Hospital of Soochow University, Suzhou 215131, China; ²Physical Examination Center, Suzhou Industrial Park Centers for Disease Control and Prevention, Suzhou 215101, China

Corresponding author: Gu Weiguo, Email: gwgszgj@126.com

【Abstract】 Objective To analyze the results of occupational health examinations of benzene and X-ray combination workers in Suzhou Industrial Park in 2016 and provide theoretical basis for occupational protection. **Methods** A total of 219 workers who underwent occupational health examinations at the Suzhou Industrial Park Centers for Disease Control and Prevention in 2016 were selected and retrospectively analyzed. Workers included 64 benzene workers, 52 X-ray workers, 50 benzene and X-ray combination workers, and 53 people without history of exposure to occupational disease hazard factors (control group). The basic information of inspected personnel was collected through questionnaires. Benzene concentrations in the workplace were detected by solvent desorption-gas chromatography, and the X-ray ambient dose equivalent rate around the workplace and the individual effective dose of the inspected personnel were determined to judge whether occupational disease hazard factors exceeded the exposure limit. Occupational health examinations, including internal medicine examinations, blood routine examinations, thyroid function examinations, lymphocyte chromosomal micronucleus rate determination and lens opacity were carried out. The occupational health examination results of different working groups were compared. The measurement data were compared between two groups by independent-samples *t* test and least significant difference *t* test, and the comparison between multiple groups was by one-way analysis of variance and Kruskal-Wallis *H* test. Pearson χ^2 test or Fisher's exact probability method was used in the comparison of enumeration data between groups. **Results** The ages of workers in the X-ray and benzene and X-ray combination groups were significantly higher than those of workers in the control group [(29.8±4.4) years old vs. (27.8±4.5) years old, (30.3±3.6) years old vs. (27.8±4.5) years old; *t*=-2.015, -2.546; both *P*<0.05). The per capita annual effective dose of workers and the ambient dose equivalent rate of the workplace in the X-ray and benzene and X-ray combination groups, and the time weighted average concentrations of benzene of workers in the benzene and benzene and X-ray combination groups were all lower than the prescribed limits. The red blood cell (RBC) count and hemoglobin level of the benzene group; the hemoglobin level and lymphocyte count of the X-ray group; and the hemoglobin level, white blood cell count, lymphocyte count and platelet count of the benzene and X-ray combination group were significantly lower than those of the control group (*t*=-0.747 to 62.388, all *P*<0.05). The RBC and lymphocyte counts of the benzene and X-ray combination group were significantly higher and significantly lower, respectively, than those of the benzene group (*t*=-38.298, 0.230; both *P*<0.01). Compared with the control group, the X-ray and the benzene and X-ray combination groups had significantly lower serum free triiodothyronine (FT₃) level and significantly higher serum free thyroxine level (*t*=-42.441 to -18.997, all *P*<0.05). The serum FT₃ level of the benzene and X-ray combination group was significantly higher than that of the X-ray group (*t*=-23.662, *P*<0.01). There was no significant difference in the chromosomal micronucleus rate of peripheral blood lymphocytes between the control group, X-ray group and benzene and X-ray combination group (*H*=1.268, *P*>0.05). The incidence of lens opacity in the X-ray group was significantly higher than that in the control group ($\chi^2=7.644$, *P*<0.01). **Conclusions** Benzene and X-ray have a certain degree of influence on blood routine indices, thyroid function indices, lymphocyte chromosomal micronucleus rate and lens opacity of workers and may show a certain combined effect. The radiation protection and health monitoring of benzene and X-ray combination workers should be strengthened.

【Key words】 Benzene; X-ray; Radiation protection; Occupational health examination; Combined effect

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202109017-00200](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202109017-00200)

自20世纪以来,苯等化学物质和X射线等放射线已得到广泛应用,其对人体的危害也备受关

注。苯是目前工业使用较多的化工原料之一,其可作为油漆、黏合剂的化学溶剂和稀释剂,广泛应用

于喷漆、制鞋、印刷及室内装修等行业,因此苯可通过职业接触和环境接触影响人体健康^[1]。X射线在医疗和工业中的广泛应用使得X射线作业人员逐年增加。大量研究结果证实,苯和X射线均可对人体的血液系统产生一定程度的影响^[2-4]。虽然有较多且深入的研究围绕苯或X射线对人体健康的影响展开,但目前关于两者联合作业人员的健康危害的报道较少。我们通过分析苯与X射线联合作业人员的职业健康检查结果,探讨苯与X射线联合作业对人体健康的影响,从而为其职业防护提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 调查对象

选取2016年在苏州工业园区疾病防治中心进行职业健康检查的受检人员共219名开展回顾性研究,其中,苯作业人员(仅接触苯系物的作业人员)64名、X射线作业人员(仅接触X射线的探伤作业人员)52名、苯与X射线联合作业人员(同时接触苯系物和X射线的探伤作业人员)50名、无职业病危害因素接触史人员(对照组,未接触苯系物、X射线和其他任何职业病危害因素的人员)53名。受检人员均知情同意。

1.2 基本情况调查

采用问卷调查的方式,调查受检人员的既往疾病史、职业病危害因素接触史及职业健康检查记录等。

1.3 工作场所职业病危害因素检测

收集受检人员2016年工作场所的职业病危害因素检测资料,根据GBZ 159-2004《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》^[5]和GBZ/T 160.42-2007《工作场所空气有毒物质测定 芳香烃类化合物》^[6],对工作场所空气中的苯系物进行采样,采用溶剂解吸-气相色谱法检测,检测指标为时间加权平均容许浓度(time weighted average concentration, C_{TWA})。根据GBZ 117-2015《工业X射线探伤放射防护要求》^[7]、GBZ 207-2016《外照射个人剂量系统性能检验规范》^[8]和GBZ 128-2019《职业性外照射个人监测规范》^[9],使用便携式X、 γ 辐射周围剂量当量仪(北京海阳博创科技股份有限公司,451P型)检测受检人员工作场所X射线的周围剂量当量率(包括本底),采用热释光剂量仪(北京海阳博创科技股份

有限公司,RGD-3D型)检测受检人员的个人有效剂量。根据GBZ 2.1-2019《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素》^[10]、GBZ 117-2015《工业X射线探伤放射防护要求》^[7]和GBZ 128-2019《职业性外照射个人监测规范》^[9],判断职业病危害因素是否超过接触限值。

1.4 职业健康检查

根据GBZ 188-2014《职业健康监护技术规范》^[11]和GBZ 235-2011《放射工作人员职业健康监护技术规范》^[12],对受检人员进行职业健康检查。收集以下检查结果:(1)内科检查结果,包括身高、体重等;(2)血常规检查结果;(3)甲状腺功能检查结果;(4)淋巴细胞染色体微核率;(5)晶状体浑浊情况。其中微核率采用胞质分裂阻断微核测定法进行分析,由2位具有10年以上工作经验的专业人员根据WS/T 187-1999《淋巴细胞微核估算受照剂量的方法》^[13]进行判定。按照公式“体重指数=体重(kg)/身高²(m²)”计算体重指数。

1.5 统计学分析

应用Excel建立数据库,应用SPSS 20.0软件对数据进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,2组间比较采用独立样本 t 检验(方差齐),多组间比较采用单因素方差分析;非正态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,2组间 M 的比较以数据排序后的秩次进行最小显著性差异法 t 检验,多组间比较采用Kruskal-Wallis H 检验。计数资料用率表示,组间比较采用Pearson χ^2 检验或Fisher确切概率法。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 受检人员的基本情况

X射线作业组、苯与X射线联合作业组人员的年龄均大于对照组,且差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$),受检人员一般资料的比较结果见表1。

2.2 工作场所职业病危害因素检测结果

在219名受检人员中,X射线作业组、苯与X射线联合作业组人员的人均年有效剂量均小于规定限值20 mSv/年^[14],工作场所X射线的周围剂量当量率均低于规定限值2.5 μ Sv/h^[11];苯作业组、苯与X射线联合作业组人员的苯 C_{TWA} 均低于职业接触限值6 mg/m³^[15],且保持在较低水平,具体数据见表2。

2.3 血常规检查结果

由表3可知, X射线作业组、苯作业组、苯与X射线联合作业组人员的血常规各项指标与对照组比较, 均有不同程度的降低, 其中, 苯作业组人员的RBC计数和血红蛋白水平, X射线作业组人员的血红蛋白水平和淋巴细胞计数, 苯与X射线联合作业组人员的血红蛋白水平、WBC、淋巴细胞计数和血小板计数均低于对照组, 且差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。苯与X射线联合作业组人员的RBC计数高于苯作业组, 淋巴细胞计数低于

苯作业组, 且差异均有统计学意义(均 $P < 0.01$)。

2.4 甲状腺功能检查结果

由表4可知, 与对照组相比, X射线作业组、苯与X射线联合作业组人员的血清游离 T_3 水平较低, 血清游离 T_4 水平较高, 且差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。苯与X射线联合作业组人员的血清游离 T_3 水平高于X射线作业组, 且差异有统计学意义($P < 0.01$)。

2.5 淋巴细胞染色体微核率的分布

各组受检人员外周血淋巴细胞染色体微核率的

表1 219名职业健康受检人员一般资料的比较

Table 1 Comparison of the normal information of 219 occupational health examinees

组别	性别(名)		年龄	工龄	体重指数	婚姻情况(名)		吸烟情况(名)		饮酒情况(名)	
	男	女	($\bar{x} \pm s$, 岁)	[$M(Q_1, Q_3)$, 年]	($\bar{x} \pm s$, kg/m^2)	已婚	未婚	是	否	是	否
对照组($n=53$)	45	8	27.8±4.5	4(2, 15)	22.4±3.2	20	33	28	25	30	23
X射线作业组($n=52$)	44	8	29.8±4.4 ^a	5(1, 12)	22.6±4.9	18	34	25	27	31	21
苯作业组($n=64$)	49	15	27.9±4.5	3.5(1, 15)	22.3±3.7	25	39	39	25	34	30
苯与X射线联合作业组($n=50$)	47	3	30.3±3.6 ^a	5(1, 16)	23.3±2.9	30	20	21	29	27	23
检验值	$\chi^2=6.522$		$F=4.878$	$H=6.656$	$F=0.829$	$\chi^2=0.369$		$\chi^2=4.370$		$\chi^2=0.571$	
P值	0.089		0.003	0.084	0.479	0.946		0.224		0.903	

注: ^a表示与对照组比较, 差异均有统计学意义($t=-2.015$ 、 -2.546 , $P=0.017$ 、 0.003)

表2 219名职业健康受检人员工作场所职业病危害因素检测结果的比较

Table 2 Comparison of the test results of occupational disease hazard factors in workplaces of 219 occupational health examinees

组别	采样点数(个)	苯 C_{TWA} ($\bar{x} \pm s$, mg/m^3)	人均年有效剂量($\bar{x} \pm s$, mSv/年)	周围剂量当量率($\bar{x} \pm s$, $\mu Sv/h$)
对照组($n=53$)	-	-	-	-
X射线作业组($n=52$)	7	-	0.65±0.04	0.147±0.037
苯作业组($n=64$)	7	1.10±0.22	-	-
苯与X射线联合作业组($n=50$)	14	1.04±0.24	0.63±0.04	0.153±0.042
t值		0.471	0.687	-0.268
P值		0.646	0.505	0.793

注: C_{TWA} 为时间加权平均容许浓度。-表示无此项数据

表3 219名职业健康受检人员血常规检查结果的比较

Table 3 Comparison of the blood routine test results of 219 occupational health examinees

组别	红细胞计数	血红蛋白	白细胞计数	中性粒细胞计数	淋巴细胞计数	血小板计数
	[$M(Q_1, Q_3)$, $\times 10^{12}/L$]	[$M(Q_1, Q_3)$, g/L]	($\bar{x} \pm s$, $\times 10^9/L$)	($\bar{x} \pm s$, $\times 10^9/L$)	($\bar{x} \pm s$, $\times 10^9/L$)	($\bar{x} \pm s$, $\times 10^9/L$)
对照组($n=53$)	5.1(3.9, 5.7)	156(138, 168)	6.2±1.0	3.7±1.2	2.3±0.4	223.7±36.6
X射线作业组($n=52$)	5.0(4.0, 5.5)	148(122, 159) ^a	5.8±0.8	3.6±0.8	2.0±0.3 ^a	208.8±21.2
苯作业组($n=64$)	4.9(3.5, 5.4) ^a	144(115, 165) ^a	5.7±1.0	3.7±1.1	2.1±0.6	208.3±46.4
苯与X射线联合作业组($n=50$)	5.1(4.2, 5.6) ^b	149(132, 159) ^a	5.4±0.5 ^a	3.6±0.8	1.9±0.3 ^{a,b}	192.9±38.4 ^a
检验值	$H=10.997$	$H=33.260$	$F=6.908$	$F=0.203$	$F=7.130$	$F=5.832$
P值	0.012	<0.001	<0.001	0.894	<0.001	0.001

注: ^a表示与对照组比较, 差异均有统计学意义($t=25.469$ 、 57.163 、 62.388 、 46.968 、 -0.747 、 0.212 、 0.383 、 30.837 , $P=0.030$ 、 $P < 0.001$ 、 $P < 0.001$ 、 $P < 0.001$ 、 $P < 0.001$ 、 $P=0.011$ 、 $P < 0.001$ 、 $P < 0.001$); ^b表示与苯作业组比较, 差异均有统计学意义($t=-38.298$ 、 0.230 , $P=0.001$ 、 0.005)

表4 职业健康受检人员甲状腺功能检查结果的比较

Table 4 Comparison of thyroid function test results of occupational health examinees

组别	T ₃ 水平	T ₄ 水平	血清游离T ₃ 水平	血清游离T ₄ 水平	促甲状腺激素水平
	($\bar{x} \pm s$, nmol/L)	($\bar{x} \pm s$, nmol/L)	[M(Q ₁ , Q ₃), pmol/L]	[M(Q ₁ , Q ₃), pmol/L]	($\bar{x} \pm s$, μ IU/ml)
对照组(n=53)	2.0±0.3	110.2±22.5	13.40(4.05, 1.99)	5.47(3.66, 24.04)	2.5±1.3
X射线作业组(n=52)	2.1±0.3	112.6±18.0	4.97(3.85, 7.49) ^a	16.87(13.02, 22.00) ^a	2.1±1.4
苯与X射线联合作业组(n=50)	2.1±0.4	108.3±15.2	5.37(4.15, 18.93) ^{a,b}	16.12(5.65, 22.00) ^a	2.4±1.3
检验值	F=1.411	F=0.652	H=19.627	H=16.391	F=1.069
P值	0.247	0.522	<0.001	<0.001	0.346

注: T₃为三碘甲状腺原氨酸; T₄为甲状腺素。^a表示与对照组比较, 差异均有统计学意义($t=-18.997$ 、 -42.441 、 -35.119 、 -21.791 , $P=0.032$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.001$ 、 $P=0.014$); ^b表示与X射线作业组比较, 差异有统计学意义($t=-23.662$, $P=0.008$)

分布见表5, 3组间比较, 差异无统计学意义($H=1.268$, $P=0.530$)。

表5 职业健康受检人员外周血淋巴细胞染色体微核率的分布(名)

Table 5 Distribution of chromosomal micronucleus rate in peripheral blood lymphocytes of occupational health examinees (case)

组别	人数	淋巴细胞染色体微核率			
		0	1‰	2‰	3‰
对照组	53	48	4	0	1
X射线作业组	52	50	1	0	1
苯与X射线联合作业组	50	46	3	1	0
总计	155	144	8	1	2

2.6 晶状体浑浊情况检查结果

X射线作业组人员晶状体浑浊的发生率高于对照组, 且差异有统计学意义(13.5%对0, $\chi^2=7.644$, $P=0.006$); 苯与X射线联合作业组人员的晶状体浑浊发生率高于对照组, 但差异无统计学意义(8.0%对0, $P=0.052$)。

3 讨论

化学物质和放射线在工业、农业和医药领域中的广泛应用使从业人员同时接触2种及以上职业危险因素的可能性大大增加^[14]。一种慢性或低剂量的有害物质可能不会对人体健康造成极大损伤, 但联合接触可能通过叠加或协同作用机制对人体健康造成有害影响。一些特殊作业环境中可能同时存在多种有害理化因素, 长期接触其的职业人群可能因多种环境因素的复合作用导致代谢紊乱、受损^[15]。

长期、重复接触低剂量的苯会诱发血液学毒性反应, 进而导致贫血和全血细胞减少等^[2-3]。本研究中, 苯作业组人员的WBC、RBC和血小板计数以及血红蛋白水平均有不同程度的下降, 这与既往报道的结果一致^[16-18]。X射线在工业和医药领域的广泛应用引起研究者对放射工作人员健康问题的密

切关注。造血系统的变化是长期低剂量受照人群较常见的损伤表现之一^[19-20], 造血系统是对辐射最敏感的系统, 且往往最早发生改变。职业性辐射损伤时血细胞的变化以WBC和血小板减少、血红蛋白水平降低为特征^[4, 21]。本研究中, X射线作业组人员的淋巴细胞计数和血红蛋白水平均降低, 且苯与X射线联合作业组人员的淋巴细胞计数低于苯作业组, 这表明苯与X射线对淋巴细胞的影响可能表现出一定程度的联合作用。大量研究结果显示, 除了造血系统, 晶状体和甲状腺也是对电离辐射敏感的器官^[4, 22]。本研究中, X射线作业组、苯与X射线联合作业组人员的晶状体浑浊的发生率升高。本研究中的X射线作业组人员主要是在探伤室进行探伤作业的工作人员, 该类人员晶状体浑浊的发病率很低, 但是要注意人体接触辐射的累积效应, 随着放射工龄的增加, 累积辐射剂量增加, 人体的生物学效应也会增加^[23], 而本研究中的作业人员工龄为1~16年, 因此作业人员有一定的概率发生晶状体浑浊。淋巴细胞染色体畸变率和微核率是评价职业受照群体辐射效应的简单且有价值的细胞遗传学指标, 本研究采用胞质分裂阻断微核测定法进行检测, 且由2位高资历的专业人员同时判定, 因此数据较为可靠, 结果显示, 对照组、X射线作业组、苯与X射线联合作业组人员外周血淋巴细胞染色体微核率间的差异无统计学意义, 这表明由于近年来辐射防护措施较为全面, 作业人员的人均年有效剂量均较低, 故辐射对其外周血淋巴细胞染色体微核率的影响并不大。

动物实验结果表明, 复合环境因素诱导产生的生物学效应较为复杂, 可表现为拮抗作用, 也可表现为协同效应^[24]。本研究中X射线作业组、苯作业组人员的WBC和血小板计数均没有明显改变,

而苯与X射线联合作业组人员的WBC和血小板计数均明显降低,这表明苯与X射线联合作业对血常规检查结果的影响更严重、复杂。苯与X射线联合作业组人员的甲状腺功能指标也出现一定程度的改变,相较于对照组,其血清游离T₃水平明显降低,血清游离T₄水平明显升高,这与既往的研究结果不一致,可能由受检人员不是在同一批次和时间接受检查所致,且影响甲状腺功能的因素较多,因此需进一步追踪研究。此外,本研究中苯与X射线联合作业组人员的血清游离T₃水平相较于X射线作业组有轻度升高。

综上所述,随着经济发展和科技进步,苯和X射线作业人员逐渐增多,复合因素的接触对人体健康的影响机制较为特殊,本研究结果提示,苯联合X射线可能对人体的造血系统、晶状体及甲状腺功能等产生一定程度的影响,且可能表现出一定程度的联合作用,其比单一有害因素对人体的影响更为复杂。但由于样本量较小,以上结论是否具有普遍性还需进一步深入研究。因此,综合本研究结果,为保障从业人员的身体健康,在考虑防护问题时,需充分考虑复合因素的影响,并不断改善工作条件、强化防护意识,将从业人员的职业损伤降到最低。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 邱晶负责文献的查阅、研究的设计、论文的撰写;高为民、杨维维负责数据的收集与分析;顾卫国负责论文的修订

参 考 文 献

- [1] Rappaport SM, Kim S, Thomas R, et al. Low-dose metabolism of benzene in humans: science and obfuscation[J]. *Carcinogenesis*, 2013, 34(1): 2-9. DOI: 10.1093/carcin/bgs382.
- [2] 时正贤, 蒋丽. 南通市苯作业工人职业健康检查结果分析[J]. *职业卫生与病伤*, 2019, 34(2): 84-87. Shi ZX, Jiang L. Analysis of occupational health examination results of benzene workers in Nantong city[J]. *Occup Health Damage*, 2019, 34(2): 84-87.
- [3] 高燕华, 张艳芳, 王佃鹏, 等. 苯职业暴露者的小血小板功能变化研究[J]. *中国实用医药*, 2018, 13(34): 45-47. DOI: 10.14163/j.cnki.11-5547/r.2018.34.019. Gao YH, Zhang YF, Wang DP, et al. Study on platelet function changes in benzene occupational exposure[J]. *China Pract Med*, 2018, 13(34): 45-47. DOI: 10.14163/j.cnki.11-5547/r.2018.34.019.
- [4] 付丽丽, 单铁梅, 段潇潇, 等. 2016-2017年辽宁省363例放射工作人员职业健康检查结果[J]. *职业与健康*, 2018, 34(20): 2765-2767. DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2018.0736. Fu LL, Shan TM, Duan XX, et al. Results of occupational health examination of 363 radiation workers in Liaoning Province from 2016-2017[J]. *Occup Health*, 2018, 34(20): 2765-2767. DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2018.0736.
- [5] 中华人民共和国卫生部. GBZ 159-2004 工作场所空气中有害物质监测的采样规范[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2006. Ministry of Health of the People's Republic of China. GBZ 159-2004 Specifications of air sampling for hazardous substances monitoring in the workplace[S]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2006.
- [6] 中华人民共和国卫生部. GBZ/T 160.42-2007 工作场所空气有毒物质测定 芳香烃类化合物[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2007. Ministry of Health of the People's Republic of China. GBZ/T 160.42-2007 Determination of aromatic hydrocarbons in the air of workplace[S]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2007.
- [7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ 117-2015 工业X射线探伤放射防护要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GBZ 117-2015 Requirement for radiological protection in industrial X-ray radiography[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ 207-2016 外照射个人剂量系统性能检验规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GBZ 207-2016 Testing criteria of personnel dosimetry performance for external exposure[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [9] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GBZ 128-2019 职业性外照射个人监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020. National Health Commission of the People's Republic of China. GBZ 128-2019 Specifications for individual monitoring of occupational external exposure[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [10] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GBZ 2.1-2019 工作场所所有害因素职业接触限值 第1部分: 化学有害因素[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020. National Health Commission of the People's Republic of China. GBZ 2.1-2019 Occupational exposure limits for hazardous agents in the workplace—Part 1: chemical hazardous agents[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ 188-2014 职业健康监护技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GBZ 188-2014 Technical

- specifications for occupational health surveillance[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [12] 中华人民共和国卫生部. GBZ 235-2011 放射工作人员职业健康监护技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011. Ministry of Health of the People's Republic of China. GBZ 235-2011 Specifications for occupational health surveillance for radiation workers[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.
- [13] 中华人民共和国卫生部. WS/T 187-1999《淋巴细胞微核估算受照剂量的方法》[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999. Ministry of Health of the People's Republic of China. WS/T 187-1999 Method of peripheral lymphocyte micronucleus assay for estimating doses exposed[S]. Beijing: Standards Press of China, 1999.
- [14] Hornhardt S, Gomolka M, Walsh L, et al. Comparative investigations of sodium arsenite, arsenic trioxide and cadmium sulphate in combination with gamma-radiation on apoptosis, micronuclei induction and DNA damage in a human lymphoblastoid cell line[J]. *Mutat Res*, 2006, 600(1/2): 165-176. DOI: 10.1016/j.mrfmmm.2006.04.002.
- [15] 王庆蓉, 沈先荣, 何颖, 等. 低剂量电离辐射、一氧化碳、苯和噪声复合作用下大鼠血清的代谢组学研究[J]. *解放军医学杂志*, 2015, 40(7): 559-563. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.2015.07.09. Wang QR, Shen XR, He Y, et al. Study on serum metabonomics of rats exposed to low-dose ionizing radiation, carbon monoxide, benzene and noise[J]. *Med J Chin PLA*, 2015, 40(7): 559-563. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.2015.07.09.
- [16] 龙昭武, 李梦, 肖力川, 等. 2016年黔东南州苯接触职工职业健康监测结果分析[J]. *应用预防医学*, 2018, 24(5): 373-374, 378. DOI: 10.3969/j.issn.1673-758X.2018.05.013. Long ZW, Li M, Xiao LC, et al. Analysis of occupational health monitoring results of employees exposed to benzene in Qiandongnan prefecture in 2016[J]. *Appl Prev Med*, 2018, 24(5): 373-374, 378. DOI: 10.3969/j.issn.1673-758X.2018.05.013.
- [17] 蔡庆涛, 王丽华, 王莉萍, 等. 2015年上海市金山区312名苯系物作业人员职业健康现状[J]. *职业与健康*, 2018, 34(1): 25-27, 31. DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2018.0007. Cai QT, Wang LH, Wang LP, et al. Occupational health status of 312 workers exposed to benzene series in Jinshan district of Shanghai in 2015[J]. *Occup Health*, 2018, 34(1): 25-27, 31. DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2018.0007.
- [18] 叶青, 谈亮. 武汉铁路局2015年苯及苯系物作业人员职业健康监护结果分析[J]. *疾病监测与控制*, 2017, 11(4): 298-299. Ye Q, Tan L. Analysis of occupational health monitoring results of benzene and benzene series workers in Wuhan railway bureau in 2015[J]. *J Dis Monit Control*, 2017, 11(4): 298-299.
- [19] 叶安方, 宣志强, 倪倩影, 等. 某省部分三甲医院放射工作人员职业性外照射个人剂量监测及健康状况分析[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2017, 35(10): 742-745. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2017.10.006. Ye AF, Xuan ZQ, Ni QY, et al. Individual dose monitoring and health status of radiation workers in some three a hospitals of Zhejiang Province[J]. *Chin J Ind Hyg Occup Dis*, 2017, 35(10): 742-745. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2017.10.006.
- [20] 王强, 朱波, 杨陆婷, 等. 杭州市放射工作人员职业健康监护结果分析[J]. *工业卫生与职业病*, 2018, 44(3): 209-211. DOI: 10.13692/j.cnki.gywsyzyb.2018.03.014. Wang Q, Zhu B, Yang LT, et al. Analysis of occupational health surveillance result of workers exposed to radiation in Hangzhou[J]. *Ind Health Occup Dis*, 2018, 44(3): 209-211. DOI: 10.13692/j.cnki.gywsyzyb.2018.03.014.
- [21] 朱小红, 蒋晨晨, 宋夜冰, 等. 职业照射对放射工作人员造血系统的影响[J]. *江苏预防医学*, 2018, 29(6): 697-699. DOI: 10.13668/j.issn.1006-9070.2018.06.034. Zhu XH, Jiang CC, Song ZB, et al. Effects of occupational exposure on hematopoietic system of radiation workers[J]. *Jiangsu J Prev Med*, 2018, 29(6): 697-699. DOI: 10.13668/j.issn.1006-9070.2018.06.034.
- [22] 赵鹏鹏. 放射工作人员职业健康检查的临床特征分析[J]. *世界最新医学信息文摘*, 2018, 18(A2): 178, 180. DOI: 10.19613/j.cnki.1671-3141.2018.102.076. Zhao PP. Clinical characteristics of occupational health examination for radiation workers[J]. *World Latest Med Inf*, 2018, 18(A2): 178, 180. DOI: 10.19613/j.cnki.1671-3141.2018.102.076.
- [23] 熊成育, 马宏宏. 2010年西宁市279名放射工作人员眼晶状体调查分析[J]. *中国辐射卫生*, 2011, 20(4): 435-436. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2011.04.046. Xiong CY, Ma HH. Investigation and analysis of eye lens of 279 radiological workers in Xining City in 2010[J]. *Chin J Radiol Health*, 2011, 20(4): 435-436. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2011.04.046.
- [24] Mothersill C, Salbu B, Heier LS, et al. Multiple stressor effects of radiation and metals in salmon (*Salmo salar*)[J]. *J Environ Radioact*, 2007, 96(1/3): 20-31. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2007.01.025.

(收稿日期: 2021-09-29)