

深圳市2015—2020年放射工作人员上岗前职业健康检查染色体畸变率与微核率分析

Analysis of chromosome aberration rate and micronucleus rate of pre-job occupational health examination of radiation workers in Shenzhen from 2015 to 2020

Li Limei, Gao Chaoxian, Hui Changye, Yang Xueqin, Chen Yuting, Sha Yan, Yi Juan

引用本文:

李丽梅, 高朝贤, 惠长野, 等. 深圳市2015—2020年放射工作人员上岗前职业健康检查染色体畸变率与微核率分析[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2022, 46(8): 471–477. DOI: 10.3760/ema.j.cn121381-202201015-00211

Li Limei, Gao Chaoxian, Hui Changye, et al. Analysis of chromosome aberration rate and micronucleus rate of pre-job occupational health examination of radiation workers in Shenzhen from 2015 to 2020[J]. *International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine*, 2022, 46(8): 471–477. DOI: 10.3760/ema.j.cn121381-202201015-00211

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/ema.j.cn121381-202201015-00211>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

核医学工作人员和受检者辐射防护现状

The status of radiation protection and control strategy for nuclear medicine workers and patients

国际放射医学核医学杂志. 2017, 41(4): 298–302 <https://doi.org/10.3760/ema.j.issn.1673-4114.2017.04.012>

一起辐射探伤事故中6名疑似受照人员的医学观察

Medical observation of six suspected irradiated staff members in a radiological accident

国际放射医学核医学杂志. 2019, 43(2): 119–124 <https://doi.org/10.3760/ema.j.issn.1673-4114.2019.02.005>

数字减影CT血管成像与彩色多普勒超声对颈动脉粥样硬化斑块检出率及斑块性质、狭窄程度判定的效果比较

Comparison of digital subtraction computed tomography angiography and color doppler ultrasound on the detection rate of carotid atherosclerosis plaques and the evaluation of plaque properties and stenosis degree

国际放射医学核医学杂志. 2018, 42(6): 513–517 <https://doi.org/10.3760/ema.j.issn.1673-4114.2018.06.007>

某市毗邻核电站地区2015~2017年围生儿出生缺陷现状分析

Birth defects among perinatal infants in a city near Daya Bay Nuclear Power Station from 2015 to 2017

国际放射医学核医学杂志. 2019, 43(4): 334–339 <https://doi.org/10.3760/ema.j.issn.1673-4114.2019.04.007>

分化型甲状腺癌患者¹³¹I治疗后诊断性全身显像周围剂量当量率动态变化的研究

Study on the dynamic change in ambient dose equivalent rate in patients with differentiated thyroid carcinoma receiving diagnostic whole-body scan after ¹³¹I therapy

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(4): 212–216 <https://doi.org/10.3760/ema.j.cn121381-201907038-00023>

第3代双源CT低剂量Turbo Flash成像图像质量与诊断效能的临床研究

Study of image quality and diagnostic accuracy of low-dose coronary angiography using third-generation dual-source CT with free breathing and heart rate

国际放射医学核医学杂志. 2018, 42(6): 500–506 <https://doi.org/10.3760/ema.j.issn.1673-4114.2018.06.005>

·临床研究·

深圳市 2015—2020 年放射工作人员 上岗前职业健康检查染色体畸变率 与微核率分析

李丽梅 高朝贤 惠长野 杨学琴 陈钰婷 沙焱 易娟

深圳市职业病防治院病理毒理所, 深圳 518020

通信作者: 易娟, Email: yijuan489@126.com

【摘要】目的 分析深圳市 2015—2020 年放射工作人员上岗前职业健康检查染色体畸变率与微核率的水平及其分布特征, 为加强放射工作人员辐射防护和职业健康管理提供科学依据。**方法** 选取 2015—2020 年在深圳市职业病防治院接受上岗前职业健康检查的 2 777 名放射工作人员开展横断面研究, 其中男性 2 210 名、女性 567 名, 年龄 17~69(27.6±6.8)岁, 将受检者按年龄分为 5 组: 17~20 岁、21~30 岁、31~40 岁、41~50 岁、51~69 岁。采用全血微量培养法制备受检者的淋巴细胞微核和染色体, 应用全自动染色体扫描分析系统对每名受检者的 100 个淋巴细胞染色体中期分裂相进行分析, 统计双着丝粒体、着丝粒环和无着丝粒体等染色体畸变类型, 比较不同年龄组以及同年龄组不同性别受检者染色体畸变情况和微核情况的差异。计量资料的组间比较采用方差分析; 染色体畸变和微核的分布服从泊松分布, 采用非参数检验, 2 组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验, 多组间比较采用 Kruskal-Wallis 秩和检验。受检者年龄与染色体畸变率、微核率的相关性分析采用 Spearman 秩相关分析。**结果** 2 777 名受检者的染色体畸变(双着丝粒体+着丝粒环+无着丝粒体)率为(0.072±0.005)%、双着丝粒体+着丝粒环畸变率为(0.016±0.002)%、染色体畸变细胞率为(0.068±0.005)%、微核率为(0.43±0.01)%、微核细胞率为(0.40±0.01)%、淋巴细胞转化率为(85.07±3.16)%。各年龄组间染色体畸变率、双着丝粒体+着丝粒环畸变率、染色体畸变细胞率以及各年龄组不同性别受检者的染色体畸变率、染色体畸变细胞率间的差异均无统计学意义($\chi^2=1.193$ 、 0.931 、 0.691 , $Z=-0.929$ ~ -0.059 , 均 $P>0.05$)。与 17~20 岁年龄组相比, 其余各年龄组受检者的微核率、微核细胞率均较高, 淋巴细胞转化率均较低, 且差异均有统计学意义($Z=-6.981$ ~ -2.510 , $F=4.922$ ~ 52.860 , 均 $P<0.05$); 受检者的微核率和微核细胞率均与年龄呈正相关($r=0.166$ 、 0.168 , 均 $P<0.001$), 而淋巴细胞转化率与年龄呈负相关($r=-0.197$, $P<0.001$); 21~30 岁年龄组、31~40 岁年龄组女性受检者的微核率、微核细胞率以及 17~20 岁年龄组、21~30 岁年龄组女性受检者的淋巴细胞转化率均显著高于同年龄组的男性受检者, 且差异均有统计学意义($Z=-4.826$ ~ -3.516 , $F=6.947$ 、 14.563 , 均 $P<0.01$)。**结论** 深圳市 2015—2020 年放射工作人员上岗前职业健康检查染色体畸变率与微核率均未超过国内文献报道的健康人群的本底水平范围, 但有随年龄增大而升高的趋势, 需加强放射工作人员的辐射防护与职业健康管理。

【关键词】 体格检查; 染色体畸变; 微核, 染色体不完整; 淋巴细胞活化; 放射工作人员

基金项目: 广东省自然科学基金(2019A1515010358); 广东省医学科学技术研究基金(A2020147); 深圳市医学重点学科(2020—2024 年)建设经费项目(SZ XK068)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202201015-00211](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202201015-00211)

Analysis of chromosome aberration rate and micronucleus rate of pre-job occupational health examination of radiation workers in Shenzhen from 2015 to 2020

Li Limei, Gao Chaoxian, Hui Changye, Yang Xueqin, Chen Yuting, Sha Yan, Yi Juan

Department of Pathology & Toxicology, Shenzhen Prevention and Treatment Center for Occupational Diseases, Shenzhen 518020, China

Corresponding author: Yi Juan, Email: yijuan489@126.com

[Abstract] Objective To analyze the level and distribution characteristics of chromosome aberration rate and micronucleus rate in the pre-job occupational health examination of radiation workers in Shenzhen from 2015 to 2020 and to provide scientific basis for strengthening the radiation protection and occupational health management among radiation workers. **Methods** A cross-sectional study was conducted among 2 777 radiation workers who received pre-job occupational health examinations in the Shenzhen Prevention and Treatment Center for Occupational Disease from 2015 to 2020, including 2 210 males and 567 females with age range of 17–69 (27.6±6.8) years. The subjects were divided into five groups by age (17–20, 21–30, 31–40, 41–50, and 51–69 years old). The lymphocyte micronuclei and chromosomes of the subjects were prepared by whole-blood microculture method. Chromosomal aberrations, including dicentric, rings, and acentric segments, in the chromosomal metaphases of 100 lymphocytes of each subject were scored by the automatic chromosome analysis system. The differences in chromosome aberrations and micronuclei were compared between different age groups and subjects of different genders in the same age group. The measurement data that conformed to the normal distribution were compared between groups by analysis of variance. The distribution of chromosome aberrations and micronuclei obeyed the Poisson distribution, and nonparametric test was used. Comparison between two groups was performed using Mann-Whitney *U* test, and comparison between multiple groups was performed using Kruskal-Wallis rank-sum test. Spearman rank correlation analysis was used to analyze the correlation between subjects' age and chromosome aberration and micronucleus rates. **Results** The chromosome aberration (dicentric + ring + acentric segment) rate of 2 777 subjects was (0.072±0.005)%, and the dicentric + ring aberration rate was (0.016±0.002)%, the chromosome aberration cell rate was (0.068±0.005)%, the micronucleus rate was (0.43±0.01) ‰, the micronucleated cell rate was (0.40±0.01) ‰, and the lymphocyte transformation rate was (85.07±3.16)%. All of the above results were within the background level range of healthy people reported in domestic literature. No statistical difference was found in the chromosome aberration rate, dicentric + ring aberration rate, and chromosome aberration cell rate among different age groups, as well as the chromosome aberration rate and chromosome aberration cell rate among different genders in each age group ($\chi^2=1.193, 0.931, 0.691; Z=-0.929$ to -0.059 ; all $P>0.05$). Compared with the 17–20-year-old age group, the micronucleus rate and micronucleated cell rate of the subjects in the other age groups were higher, and the lymphocyte transformation rate was lower, and the differences were statistically significant ($Z=-6.981$ to $-2.510, F=4.922-52.860$, all $P<0.05$). The micronuclei rate and micronucleated cell rate of the subjects were positively correlated with age ($r=0.166, 0.168$; both $P<0.001$), whereas the lymphocyte transformation rate was negatively correlated with age ($r=-0.197, P<0.001$). The micronuclei rate, micronucleated cell rate, and lymphocyte transformation rate of female subjects in the 17–20- and 21–30-year-old age groups was significantly higher than those of the male subjects in the same age group, and the differences were statistically significant ($Z=-4.826$ to $-3.516; F=6.947, 14.563$; all $P<0.01$). **Conclusions** The chromosome aberration rate and micronucleus rate in the pre-job occupational health examination of radiation workers in Shenzhen from 2015 to 2020 did not exceed the background level range of healthy people reported in domestic literature, but they tended to increase with age. The results of this study suggested that attention should be paid to strengthening the radiation protection and occupational health management of radiation workers.

[Key words] Physical examination; Chromosome aberrations; Micronuclei, chromosome-defective; Lymphocyte activation; Radiation workers

Fund programs: Natural Science Foundation of Guangdong Province (2019A1515010358); Medical Science and Technology Research Foundation of Guangdong Province (A2020147); Shenzhen Medical Key Discipline (2021—2024) Construction Funding Project (SZXK068)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202201015-00211](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202201015-00211)

随着经济的发展和科技的进步,放射性核素、电离辐射源及核能被广泛地开发和利用,辐射对人体造成的损伤一直是放射医学界关注的问题。染色体畸变率和微核率是评估放射性损伤的灵敏指标^[1],也是放射工作人员职业健康检查的必检项目^[2-3]。上岗前检查是放射工作人员职业健康检查的重要组成部分,其主要目的是发现有无职业禁忌证以及建立接触职业病危害因素人员的基础健康档案。不同地区、不同城市、不同年代的人群所接触到的环境有害因素的种类和剂量不同,诱发染色体畸变与微核的本底水平也不同。近年来,国内对于放射工作人员上岗前染色体畸变率和微核率的水平及其分布特征少有报道,仅有健康人群染色体畸变和微核本底水平的调查数据,且样本量偏少,单篇文献通常只有几十至几百名调查对象,缺乏大样本量的人群数据^[4-17]。我们通过分析深圳市2015—2020年放射工作人员上岗前职业健康检查的染色体畸变率和微核率结果,为放射工作人员对预期工作的适任和持续适任程度的评价提供参考,为应急照射或事故照射的医学处理和放射性疾病的诊断提供基础健康资料,也为加强放射工作人员辐射防护与职业健康管理提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 调查对象

选取2015—2020年在深圳市职业病防治院接受上岗前职业健康检查的2777名放射工作人员开展横断面研究,其中男性2210名、女性567名,年龄17~69(27.6±6.8)岁。纳入标准:(1)无恶性肿瘤或严重慢性疾病史;(2)无药物、化学毒物长期接触史;(3)无应急照射和事故照射史。排除标准:处于疾病急性期或近期大剂量用药。将受检者按年龄分为5组:17~20岁、21~30岁、31~40岁、41~50岁、51~69岁。外周血的采集遵循医学伦理要求,所有受检者均知情同意。

1.2 淋巴细胞微核和染色体的制备

采用全血微量培养法制备淋巴细胞微核和染色体,具体方法如下。采集受检者的静脉血2.0 ml至无菌肝素钠真空采血管内,接种0.5 ml全血至3.0 ml微核培养基中,37℃恒温培养68~72 h后,以0.075 mol/L KCl溶液作为低渗液低渗处理2 min,以卡诺氏固定液(甲醇与冰醋酸的体积比为3:1)固

定,20 min/次,共固定2次,常规方法滴片后自然晾干,用10%吉姆萨染液染色10 min,制备淋巴细胞微核;接种0.5 ml全血至3.0 ml染色体培养基中,加入秋水仙素(最终质量浓度为0.04 μg/ml),37℃恒温培养48~52 h后,以0.075 mol/L KCl溶液作为低渗液低渗处理15 min,以卡诺氏固定液(甲醇与冰醋酸的体积比为3:1)固定,20 min/次,共固定3次,湿片滴片后过火分散染色体,自然晾干,用10%吉姆萨染液染色10 min,制备淋巴细胞染色体。

主要试剂及仪器:微核培养基、染色体培养基均购自美国康宁公司;KCl、甲醇、冰醋酸均购自广州化学试剂厂(均为分析纯);秋水仙素、10%吉姆萨染色液均购自上海生工生物工程技术有限公司。无菌肝素钠真空采血管购自深圳美讯医学检验科技有限公司;CO₂恒温培养箱购自美国赛默飞世尔科技公司,型号HERAcell 240i。

1.3 计数分析

应用德国蔡司公司MetaSystems全自动染色体扫描分析系统扫描淋巴细胞染色体中期分裂相,并在油镜下拍照,每名受检者分析100个淋巴细胞染色体中期分裂相,将发现的所有染色体畸变按不同类型分别记录和统计,包括双着丝粒体、着丝粒环和无着丝粒体。当受检者可分析的分裂相比较少时,进行重新抽血复检,所有疑似的畸变类型均经2名以上从事染色体畸变分析工作5年以上的专业人员确认。在60倍物镜下对每名受检者的1000个已转化淋巴细胞进行计数,按照《人类辐射细胞遗传学》中的微核判断标准^[18]识别微核并记录。

1.4 统计学分析

应用SPSS 19.0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,组间比较采用方差分析(方差齐);染色体畸变和微核的分布服从泊松分布,以 $p \pm S_p$ 表示,其中 $p = X/n$, $S_p = \sqrt{X}/n$ (p 为染色体畸变率或染色体畸变细胞率或微核率或微核细胞率, S_p 为标准误, X 为染色体畸变数或微核数, n 为分析细胞数),采用非参数检验,2组间比较采用Mann-Whitney U 检验,多组间比较采用Kruskal-Wallis秩和检验。受检者年龄与染色体畸变率、微核率的相关性分析采用Spearman秩相关分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 染色体畸变情况

由表1可知, 2 777名受检者的双着丝粒体+着丝粒环畸变率为(0.016±0.002)%、染色体畸变(双着丝粒体+着丝粒环+无着丝粒体)率为(0.072±0.005)%, 染色体畸变细胞率为(0.068±0.005)%, 以上结果均在国内文献^[4-14, 18]报道的健康人群的本底水平范围内。双着丝粒体+着丝粒环畸变率随年龄的增加略有升高, 但各年龄组间的差异无统计学意义($\chi^2=0.931$, $P=0.920$); 且各年龄组间染色体畸变(双着丝粒体+着丝粒环+无着丝粒体)率、染色体畸变细胞率间的差异均无统计学意义($\chi^2=1.193$ 、 0.691 , $P=0.879$ 、 0.952)。

由表2可知, 各年龄组不同性别的受检者的染色体畸变(双着丝粒体+着丝粒环+无着丝粒体)率、染色体畸变细胞率之间的差异均无统计学意义($Z=-0.929$ ~- 0.059 , 均 $P>0.05$)。

2.2 微核情况

由表3可知, 2 777名受检者的微核率为(0.43±

0.01)% (在国内文献^[6-17]报道的健康人群的本底水平范围内), 微核细胞率为(0.40±0.01)%。淋巴细胞转化率为(85.07±3.16)%; 与17~20岁年龄组相比, 其余各年龄组的微核率、微核细胞率均较高, 淋巴细胞转化率均较低, 且差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。Spearman秩相关分析结果表明, 受检者的微核率和微核细胞率均与年龄呈正相关($r=0.166$ 、 0.168 , 均 $P<0.001$); 而淋巴细胞转化率与年龄呈负相关($r=-0.197$, $P<0.001$)。

由表4可知, 21~30岁年龄组、31~40岁年龄组女性受检者的微核率和微核细胞率均显著高于同年龄组的男性受检者, 且差异均有统计学意义(均 $P<0.001$); 17~20岁年龄组、21~30岁年龄组女性受检者的淋巴细胞转化率均显著高于同年龄组的男性受检者, 且差异均有统计学意义(均 $P<0.01$)。

3 讨论

参加放射工作上岗前职业健康检查的人群是一类特殊群体, 他们有的来自健康人群, 有的是有职业病危害因素接触史的转岗人员, 还有的是放射工

表1 2 777名不同年龄放射工作人员上岗前职业健康检查染色体畸变情况的比较

Table 1 Comparison of chromosome aberrations of 2 777 radiation workers of different ages in pre-job occupational health examination

组别	人数(名)	分析细胞数(个)	双着丝粒体+着丝粒环畸变率	染色体畸变(双着丝粒体+	染色体畸变细胞率
			($p \pm S_p$, %)	着丝粒环+无着丝粒体)	($p \pm S_p$, %)
17~20岁	178	18 070	0.011±0.008	0.094±0.023	0.089±0.022
21~30岁	1 972	199 668	0.016±0.003	0.071±0.006	0.067±0.006
31~40岁	480	48 700	0.016±0.006	0.070±0.012	0.068±0.012
41~50岁	111	11 300	0.018±0.013	0.062±0.023	0.062±0.023
51~69岁	36	3 700	0.027±0.027	0.108±0.054	0.081±0.047
合计	2 777	281 438	0.016±0.002	0.072±0.005	0.068±0.005

注: p 为双着丝粒体+着丝粒环畸变率或染色体畸变率或染色体畸变细胞率; S_p 为标准误

表2 不同年龄、不同性别放射工作人员上岗前职业健康检查染色体畸变情况的比较

Table 2 Comparison of chromosome aberrations of the radiation workers in pre-job occupational health examination of different genders and ages

组别	性别(名)		染色体畸变(双着丝粒体+着丝粒环+		染色体畸变细胞率($p \pm S_p$, %)	
	男	女	无着丝粒体)率($p \pm S_p$, %)		男	女
			男	女		
17~20岁	130	48	0.092±0.027	0.100±0.045	0.084±0.025	0.100±0.045
21~30岁	1 618	354	0.067±0.006	0.089±0.016	0.065±0.006	0.072±0.014
31~40岁	341	139	0.066±0.014	0.078±0.024	0.064±0.014	0.078±0.024
41~50岁	89	22	0.056±0.025	0.083±0.059	0.067±0.028	0.042±0.042
51~69岁	32	4	0.094±0.054	0.200±0.200	0.094±0.054	0
合计	2 210	567	0.068±0.006	0.088±0.012	0.067±0.005	0.074±0.011

注: p 为染色体畸变率或染色体畸变细胞率; S_p 为标准误

表3 2777名不同年龄放射工作人员上岗前职业健康检查微核情况的比较

Table 3 Comparison of micronucleus of 2777 radiation workers of different ages in pre-job occupational health examination

组别	人数(名)	分析细胞数(个)	微核率($p \pm S_p$, ‰)	微核细胞率($p \pm S_p$, ‰)	淋巴细胞转化率($\bar{x} \pm s$, %)
17~20岁	178	17 8000	0.24±0.04	0.23±0.04	85.84±3.29
21~30岁	1 972	1 972 000	0.37±0.01 ^a	0.34±0.01 ^a	85.31±3.02 ^a
31~40岁	480	480 000	0.56±0.03 ^a	0.52±0.03 ^a	84.49±3.23 ^a
41~50岁	111	111 000	0.94±0.09 ^a	0.90±0.09 ^a	83.00±3.13 ^a
51~69岁	36	36 000	1.11±0.17 ^a	0.95±0.16 ^a	81.89±3.43 ^a
合计	2 777	2 777 000	0.43±0.01	0.40±0.01	85.07±3.16

注： p 为微核率或微核细胞率； S_p 为标准误。^a表示与17~20岁年龄组比较，差异均有统计学意义（ $Z=-2.538$ 、 -4.462 、 -6.981 、 -4.486 、 -2.510 、 -4.393 、 -6.940 、 -4.461 、 $F=4.922$ 、 22.413 、 52.860 、 42.570 ， $P=0.011$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.001$ 、 $P=0.012$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.001$ 、 $P=0.027$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.001$ ）

表4 不同年龄、不同性别放射工作人员上岗前职业健康检查微核情况的比较

Table 4 Comparison of micronucleus of the radiation workers in pre-job occupational health examination of different genders and ages

组别	性别(名)		微核率($p \pm S_p$, ‰)		微核细胞率($p \pm S_p$, ‰)		淋巴细胞转化率($\bar{x} \pm s$, %)	
	男	女	男	女	男	女	男	女
17~20岁	130	48	0.21±0.04	0.32±0.08	0.20±0.04	0.32±0.08	85.45±3.44	86.90±2.61 ^a
21~30岁	1 618	354	0.32±0.01	0.58±0.04 ^a	0.30±0.01	0.55±0.04 ^a	85.19±3.05	85.87±2.82 ^a
31~40岁	341	139	0.50±0.04	0.72±0.07 ^a	0.46±0.04	0.67±0.07 ^a	84.36±3.27	84.83±3.12
41~50岁	89	22	0.93±0.10	0.96±0.20	0.89±0.10	0.91±0.20	83.09±3.08	82.64±3.37
51~69岁	32	4	1.12±0.18	1.00±0.50	0.94±0.17	1.00±0.50	82.00±3.51	81.00±2.94
合计	2 210	567	0.38±0.01	0.61±0.03	0.35±0.01	0.58±0.03	84.95±3.18	85.54±3.03

注： p 为微核率或微核细胞率； S_p 为标准误。^a表示与同年龄组的男性比较，差异均有统计学意义（ $Z=-4.826$ 、 -4.811 、 -3.516 、 -3.607 ， $F=6.947$ 、 14.563 ， $P<0.001$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.001$ 、 $P=0.009$ 、 $P<0.001$ ）

作脱岗后重新上岗的人员，此类人群的染色体畸变率及微核率检测结果理论上应不低于健康人群。我们分析了放射工作人员上岗前职业健康检查染色体畸变率及微核率结果，并将其与已报道的国内其他地区健康人群的本底水平进行了比较：本研究2777名放射工作人员上岗前职业健康检查结果中的双着丝粒体+着丝粒环畸变率为(0.016±0.002)%、染色体畸变(双着丝粒体+着丝粒环+无着丝粒体)率为(0.072±0.005)%、染色体畸变细胞率为(0.068±0.005)%、微核率为(0.43±0.01)‰、微核细胞率为(0.40±0.01)‰、淋巴细胞转化率为(85.07±3.16)%；国内文献报道的健康人群的双着丝粒体+着丝粒环畸变率低于0.03%^[4-14]、染色体畸变(双着丝粒体+着丝粒环+无着丝粒体)率为0.01%~0.19%^[4-14]、染色体畸变细胞率为0~2.0%^[18]、微核率为0.06‰~1.16‰^[6-17]，可见本研究各项结果均在大部分国内文献报道的健康人群的本底水平范围内，且与理论分析相符。

本研究中受检者的双着丝粒体+着丝粒环畸变

率随年龄的增加而升高。双着丝粒体+着丝粒环畸变率因本底水平较低和辐射特异性较高而被国际公认为辐射生物剂量估算的“金标准”。本研究中51~69岁年龄组受检者的双着丝粒体+着丝粒环畸变率为(0.027±0.027)%，接近健康人群的本底水平上限，且有高于健康人群本底水平的趋势，其可能的原因：一是受天然本底辐射、环境诱变剂和生物因素等致畸变因素的累积效应影响，健康人群的染色体畸变率随年龄的增大而升高；二是与部分高龄受检者有既往放射线接触史有关。因本研究未纳入非放射工作人员的上岗前细胞遗传学检测结果作为对照，故无法排除既往放射线接触史对本底水平的影响，此问题在后续的调查研究中应进一步探讨。各年龄组不同性别受检者染色体畸变(双着丝粒体+着丝粒环+无着丝粒体)率、染色体细胞畸变率间的差异均无统计学意义，这与既往报道结果^[4-14, 18]一致。

本研究中，21~30岁年龄组、31~40岁年龄组、41~50岁年龄组、51~69岁年龄组受检者的微

核率、微核细胞率均高于 17~20 岁年龄组, 淋巴细胞转化率均低于 17~20 岁年龄组, 且差异均有统计学意义。微核率和微核细胞率与受检者的年龄呈正相关, 而淋巴细胞转化率与受检者的年龄呈负相关, 分析原因可能是 21 岁以上的受检者中有转岗或放射工作脱岗后重新上岗人员, 其中部分受检者有既往放射线接触史。此外, 微核自发率本就随年龄的增大而升高^[19], 一般认为是有害物质累积接触量增高所致; 同时随着年龄的增大, 基因突变增多、DNA 修复能力降低, 进而引起 DNA 损伤增加^[20-21]。赵骅等^[21]的研究结果表明, 女性的微核率高于男性。本研究中 21~30 岁年龄组、31~40 岁年龄组女性受检者的微核率和微核细胞率均高于同年龄组的男性, 且差异均有统计学意义; 17~20 岁年龄组、21~30 岁年龄组女性受检者的淋巴细胞转化率均显著高于同年龄组的男性, 且差异均有统计学意义。是否因育龄期和月经期女性代谢旺盛导致其对各种致畸变因素更敏感而更易形成微核还需进一步研究证实。

综上所述, 本研究结果表明, 深圳市 2015—2020 年放射工作人员上岗前职业健康检查结果中的染色体畸变率和微核率虽未超过国内报道的健康人群本底水平范围, 但有随年龄增大而相对升高的趋势。掌握放射工作人员上岗前染色体畸变率和微核率的水平现状及健康基础资料有望为尽早发现职业禁忌证、保护劳动者职业健康、避免职业安全隐患和相关权益纠纷提供有力证据。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 李丽梅负责命题的提出、研究的设计、数据的收集与分析、论文的撰写; 高朝贤负责数据的统计与分析; 惠长野负责研究的设计、论文的审阅; 杨学琴、陈钰婷、沙焱负责研究对象的筛选、染色体畸变和微核的分析; 易娟负责论文的指导、研究的实施

参 考 文 献

- [1] 王敏, 刘玉龙, 卞华慧, 等. 一起辐射探伤事故中 6 名疑似受照人员的医学观察[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2019, 43(2): 119-124. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.02.005.
Wang M, Liu YL, Bian HH, et al. Medical observation of six suspected irradiated staff members in a radiological accident[J]. *Int J Radiat Med Nucl Med*, 2019, 43(2): 119-124. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.02.005.
- [2] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GBZ 98-2020 放射工作人员健康要求及监护规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
National Health Commission of the People's Republic of China. GBZ 98-2020 Health requirements and surveillance specifications for radiation worker[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [3] 吕玉民, 傅宝华, 韩林, 等. 《放射工作人员职业健康检查外周血淋巴细胞染色体畸变检测与评价》解读[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2012, 36(4): 249. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2012.04.014.
Lyu YM, Fu BH, Han L, et al. Explanation of Test and Assessment of Chromosomal Aberrations on Occupational Health Examinations for Radiation Workers[J]. *Int J Radiat Med Nucl Med*, 2012, 36(4): 249. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2012.04.014.
- [4] 张天喜, 张苏贞, 周齐红, 等. 放射工作人员外周血淋巴细胞染色体畸变分析[J]. *中国卫生检验杂志*, 2021, 31(10): 1250-1253.
Zhang TX, Zhang SZ, Zhou QH, et al. Analysis on peripheral lymphocyte chromosomal aberration of radiation workers[J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2021, 31(10): 1250-1253.
- [5] 张学清, 陈英, 王治东, 等. 健康成人自发染色体畸变率与微核率的本底状况再分析[J]. *癌变·畸变·突变*, 2014, 26(1): 56-58, 62. DOI: 10.3969/j.issn.1004-616x.2014.01.013.
Zhang XQ, Chen Y, Wang ZD, et al. Re-investigation on spontaneous frequencies of chromosome aberration and micronucleus in healthy adults[J]. *Carcinog Teratog Mutagen*, 2014, 26(1): 56-58, 62. DOI: 10.3969/j.issn.1004-616x.2014.01.013.
- [6] 那向杰, 王丽东, 段潇潇, 等. 2018 年沈阳市放射工作人员外周血淋巴细胞染色体畸变及微核率分析[J]. *职业与健康*, 2019, 35(22): 3152-3154. DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2019.0843.
Na XJ, Wang LD, Duan XX, et al. Chromosome aberration and micronucleus rate of peripheral blood lymphocytes in radiological workers in Shenyang in 2018[J]. *Occup Health*, 2019, 35(22): 3152-3154. DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2019.0843.
- [7] 郭秀芝. 放射工作人员外周血淋巴细胞染色体畸变和微核细胞变化的影响因素分析[J]. *系统医学*, 2019, 4(17): 17-19. DOI: 10.19368/j.cnki.2096-1782.2019.17.017.
Guo XZ. Analysis of influencing factors of chromosomal aberrations and micronucleated cells in peripheral blood lymphocytes of radiation workers[J]. *Syst Med*, 2019, 4(17): 17-19. DOI: 10.19368/j.cnki.2096-1782.2019.17.017.
- [8] 刘涵笑, 邓太平, 李洁清, 等. 介入放射工作人员血液指标调查分析[J]. *中国辐射卫生*, 2020, 29(3): 211-214. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.03.002.
Liu HX, Deng DP, Li JQ, et al. Analysis of some blood indexes of interventional radiation workers[J]. *Chin J Radiol Health*, 2020, 29(3): 211-214. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.03.002.

- 002.
- [9] 吴苹, 陈燕玲, 秦洁, 等. 放射工作人员外周血淋巴细胞染色体畸变分析[J]. *辐射防护通讯*, 2019, 39(2): 1-5. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6356.2019.02.001.
- Wu P, Chen YL, Qin J, et al. Analysis of chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes of radiation workers[J]. *Radiat Prot Bull*, 2019, 39(2): 1-5. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6356.2019.02.001.
- [10] 宋学术, 董振强, 孙冰梅, 等. 山东省部分放射工作人员外周血淋巴细胞染色体畸变分析[J]. *中国辐射卫生*, 2019, 28(3): 242-244. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714x.2019.03.006.
- Song XS, Dong ZQ, Sun BM, et al. Analysis of chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes of some radiation workers in Shandong province[J]. *Chin J Radiol Health*, 2019, 28(3): 242-244. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714x.2019.03.006.
- [11] 周齐红, 俞慧娟, 付风云, 等. 放射工作人员外周血淋巴细胞染色体畸变和微核率分析[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2016, 34(4): 275-277. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2016.04.009.
- Zhou QH, Yu HJ, Fu FY, et al. Chromosome aberration and micronucleus frequency in peripheral blood lymphocytes in radiation workers[J]. *Chin J Ind Hyg Occup Dis*, 2016, 34(4): 275-277. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2016.04.009.
- [12] 孙杰, 赖关朝, 张宗军, 等. 长期小剂量电离辐射作用于人体对外周血淋巴细胞微核、染色体畸变及白细胞的影响[J]. *中国处方药*, 2019, 17(5): 138-139. DOI: 10.3969/j.issn.1671-945X.2019.05.084.
- Sun J, Lai GC, Zhang ZJ, et al. Effects of long-term low-dose ionizing radiation on micronucleus, chromosome aberration and white blood cells in human peripheral blood lymphocytes[J]. *J China Prescr Drug*, 2019, 17(5): 138-139. DOI: 10.3969/j.issn.1671-945X.2019.05.084.
- [13] 邢艳. 南京市放射工作人员外周血淋巴细胞染色体畸变和微核率分析[J]. *中国辐射卫生*, 2010, 19(2): 176-178. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2010.02.033.
- Xing Y. Analysis of the chromosomal aberration and micronucleus rates of radiation workers' peripheral-blood lymphocytes in Nanjing[J]. *Chin J Radiol Health*, 2010, 19(2): 176-178. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2010.02.033.
- [14] 刘纪青, 毛喻萱, 王轩, 等. 不同工种放射工作人员外周血淋巴细胞染色体畸变分析[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2016, 36(9): 659-661. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2016.09.004.
- Liu JQ, Mao YX, Wang X, et al. Analysis of chromosomal aberrations in peripheral blood lymphocytes of different radiation workers[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2016, 36(9): 659-661. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2016.09.004.
- [15] 龙高群, 张成思, 姜红. 贵州省放射工作人员外周血淋巴细胞微核分析[J]. *中国辐射卫生*, 2019, 28(3): 232-234. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714x.2019.03.003.
- Long GQ, Zhang CS, Jiang H. Analysis of micronucleus rate in peripheral blood lymphocytes of radiation workers in Guizhou Province[J]. *Chin J Radiol Health*, 2019, 28(3): 232-234. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714x.2019.03.003.
- [16] 王秋雅, 熊晓芸, 张恒东. 504名放射工作人员淋巴细胞微核率分析[J]. *中国辐射卫生*, 2021, 30(1): 5-9. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.01.002.
- Wang QY, Xiong XY, Zhang HD. Analysis on lymphocytes micronucleus rate of 504 radiation workers[J]. *Chin J Radiol Health*, 2021, 30(1): 5-9. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.01.002.
- [17] 甄联华. 625例放射工作人员淋巴细胞微核检测结果分析[J]. *黑龙江医药*, 2018, 31(2): 403-405. DOI: 10.14035/j.cnki.hljyy.2018.02.087.
- Zhen LH. Analysis on lymphocytes micronucleus rate of 625 radiation workers[J]. *Heilongjiang Med J*, 2018, 31(2): 403-405. DOI: 10.14035/j.cnki.hljyy.2018.02.087.
- [18] 白玉书, 陈德清. 人类辐射细胞遗传学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2006: 47.
- Bai YS, Chen DQ. Human radiation cytogenetics[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2006: 47.
- [19] 阮健磊, 刘春旭, 吴丽娜, 等. 某氡温泉周边居民外周血淋巴细胞微核的变化[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2015, 39(5): 363-366. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2015.05.002.
- Ruan JL, Liu CX, Wu LN, et al. Change of micronucleus in peripheral blood lymphocytes of the residents surrounding hot springs with radon[J]. *Int J Radiat Med Nucl Med*, 2015, 39(5): 363-366. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2015.05.002.
- [20] Wojda A, Ziętkiewicz E, Witt M. Effects of age and gender on micronucleus and chromosome nondisjunction frequencies in centenarians and younger subjects[J]. *Mutagenesis*, 2007, 22(3): 195-200. DOI: 10.1093/mutage/gem002.
- [21] 赵骅, 陆雪, 蔡恬静, 等. 年龄和性别对正常人外周血淋巴细胞核质桥自发率的影响[J]. *癌变·畸变·突变*, 2021, 33(1): 48-52. DOI: 10.3969/j.issn.1004-616x.2021.01.010.
- Zhao H, Lu X, Cai TJ, et al. Effects of age and gender on formation of nucleoplasmic bridges in peripheral blood lymphocytes[J]. *Carcinog Teratog Mutagen*, 2021, 33(1): 48-52. DOI: 10.3969/j.issn.1004-616x.2021.01.010.

(收稿日期: 2022-01-19)