

DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.04.002

· 辐射健康/论著 ·

低剂量电离辐射与放射工作人员甲状腺激素的剂量-反应关系

张曼宇¹, 刘宁², 陈惠鹏¹, 叶小华², 姚振江², 钟新光¹

1. 东莞市第六人民医院, 广东 东莞 523008; 2. 广东药科大学公共卫生学院, 广东 广州 510310

摘要: **目的** 探究低剂量辐射与甲状腺激素水平的剂量-反应关系, 为放射工作人员防护工作重点提供理论依据。**方法** 采用前瞻性队列研究设计, 收集 1237 名放射工作人员健康体检报告及个人剂量监测数据。以辐射累积有效剂量作为观察指标并按照四分位间距分 0~2.586 mSv、2.586~3.757 mSv、3.758~31.272 mSv 3 组, 低剂量组为参照, 比较不同累积辐射剂量组放射工作人员甲状腺激素变化情况。采用广义线性模型和限制性立方样条模型分别估计累积有效剂量与甲状腺激素变化的关联及剂量反应关系。**结果** 1237 名放射工作人员的甲状腺素 T4、FT3 水平变化在不同剂量组间的差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。调整性别、年龄、工龄、职业、医疗等级和吸烟后, 广义线性模型分析显示, 2.586~3.757 mSv ($\beta = 3.514$, 95%CI: 0.900~6.128) 与放射工作人员 T4 水平变化显著相关, 而累积有效剂量与 FT3 水平变化无关 ($P > 0.05$)。限制性立方样条分析结果显示, 累积有效剂量连续变化与 T4 水平变化呈非线性剂量反应关系 ($P = 0.023$)。**结论** 长期低剂量电离辐射对放射工作人员甲状腺功能造成一定的损伤, 辐射累积有效剂量与 T4 水平变化存在剂量-反应关系。

关键词: 电离辐射; 放射工作人员; 甲状腺激素; 剂量-反应关系; 限制性立方样条

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2021)04-0397-05

The dose-response relationship between low-dose ionizing radiation and thyroid hormone of medical workers

ZHANG Manyu¹, LIU Ning², CHEN Huipeng¹, YE Xiaohua², YAO Zhenjiang², ZHONG Xinguang¹

1. The Sixth People's Hospital of Dongguan, Dongguan 523008 China; 2. School of Public Health, Guangdong Pharmaceutical University, Dongguan 510310 China

Abstract: **Objectives** To explore the dose-response relationship between low-dose ionizing radiation and thyroid hormone levels of radiation medical workers and provide theoretical basis for occupational health protection to this population. **Methods** Using a prospective cohort study design, we collected health examination reports on employees that worked on jobs with occupational exposure to radiation at hospital with individually dose monitoring data for 1 237 workers. The effective cumulative radiation dose was divided into three groups: 0~2.586 mSv, 2.586~3.757 mSv, 3.758~31.272 mSv by the interquartile range. The low-dose group was used as a reference to compare the changes in thyroid hormones of medical workers in different cumulative radiation dose groups. The generalized linear models and restricted cubic spline model were used to examine the association and dose-response relationship between the cumulative effective dose and changing thyroid hormones. **Results** There were statistically significant differences in changing thyroxine (T4) and Free triiodothyronine (FT3) levels among three different dose groups of 1237 subjects ($P < 0.05$). The results of generalized linear models analysis revealed that 2.586~3.757 mSv was a significant risk factors of changing T4, with β of 3.514 (95% confidence interval [95% CI]: 0.900~6.128) after adjusting for gender, age, working duration, occupation, medical level and smoking, while the association with changing FT3 was not observed ($P > 0.05$). The restrictive cubic spline (RCS) model analysis indicated a non-linear dose-response correlation between cumulative radiation dose with changing T4 ($P = 0.023$). **Conclusion** Long-term exposure to low-dose ionizing radiation could induce the thyroid damage among medical occupational population. And there is a dose-response relationship between cumulative radiation dose and changing thyroxine.

作者简介: 张曼宇 (1982—), 女, 本科, 主管医师, 主要从事职业健康教育与健康促进工作, E-mail: 153206250@qq.com
通信作者: 钟新光, E-mail: zxgcdc@qq.com

Keywords: Ionizing Radiation; Medical Occupational Population; Thyroid Hormones; Dose-response Relationship; Restrictive Cubic Spline

Corresponding author: ZHONG Xinguang, E-mail: zxgcde@qq.com

随着电离辐射技术在医疗领域的广泛应用,放射工作人员不可避免的长期接触低剂量电离辐射,其健康问题引起了广泛关注^[1-2]。甲状腺作为人体最大的内分泌腺体,更易受到电离辐射的影响而产生功能或形态的改变,影响激素的分泌。相关研究显示低剂量电离辐射对放射工作人员甲状腺功能存在一定损伤^[3-7]。在西班牙一项研究中,46 名三级医院放射工作人员有 7.1% 促甲状腺激素(TSH)上升^[8]。在另一项台湾研究中,低剂量电离辐射可能会导致放射工作人员甲状腺激素中的三碘甲状腺原氨酸(T3)和甲状腺素(T4)下降^[9]。目前国内外大多数研究表明低剂量电离辐射对人体甲状腺激素有影响^[10-12],鲜少有关二者剂量反应关系的报道。因此,本研究采用前瞻性队列研究,评估东莞市放射工作人员累积有效剂量与甲状腺激素水平变化的关联性,并探究其剂量反应关系,为采取有效的预防和控制措施以减少放射工作人员辐射损伤提供科学依据,以期制订电离辐射防护标准和开展职业人群辐射防护提供数据支持。

1 对象与方法

1.1 研究对象 东莞市某医院 2015 年 11 月~2019 年 6 月参加健康体检及有个人剂量监测原始数据记录的放射工作人员作为研究对象。纳入标准:①研究结束时,从事医疗射线接触相关工作 1 年及以上;②根据疾控部门的历年监测数据,5 年内个人累积电离辐射暴露剂量小于 100 mSv,个人年均累积电离辐射暴露剂量低于国家剂量年限标准(20 mSv)^[13]。排除标准:①在随访开始之前有癌症、自身免疫性疾病、甲状腺疾病或其他可能影响甲状腺功能的疾病史的研究对象;②女性研究对象在研究期间妊娠。

将研究对象根据个人累积电离辐射暴露剂量的四分位间距分为 3 组,0~2.586 mSv、2.586~3.757 mSv、3.758~31.272 mSv,以低剂量为参照组。本研究已获得东莞市第六人民医院医学研究伦理委员会审批(No.Z2020—006)。

1.2 研究方法 收集研究对象的健康体检资料和个人剂量监测数据。健康体检项目中甲状腺激素测定

采用美国雅培总甲状腺素(T4)、总三碘甲状腺原氨酸(T3)、促甲状腺素(TSH)、游离三碘甲状腺原氨酸(FT3)、游离甲状腺素(FT4)检测试剂。[正常值参考范围:FT3: 2.63~5.7 pmol/L、FT4: 9.0~19.05 pmol/L、T3: 0.89~2.44 nmol/L、T4: 62.68~150.83 nmol/L、TSH: $(0.53 \sim 4.94) \times 10^{-3}$ uIU/mL]。电离辐射暴露剂量按照《GBZ128—2016 职业性外照射个人监测规范》的检测方法,将热释光剂量计(TLD)-片状(圆片)-LiF(Mg, Cu, P)探测器佩戴于左胸前(如有铅围裙,则还需在铅围裙外面衣领上另外佩戴一个剂量计),常规监测 3 个月后,回收剂量计,并运用工作暴露矩阵,计算累积年剂量。早期电离辐射暴露剂量数据的缺失使用同年同单位名称同工种的平均剂量值为名义剂量进行填补。

1.3 统计学处理 数据采用 Stata 15.1 进行统计处理。计量资料近似正态分布用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,2 组或多组间比较采用 *t* 检验或方差分析;方差不齐采用 Welch 方差分析;累积有效剂量与放射工作人员甲状腺激素变化之间的关联采用非线性和非恒定方差结构的广义线性模型,以 β 值及其 95%CI 为效应估计大小,并调整混杂变量探索累积有效剂量连续变化与甲状腺激素改变之间的关联;通过限制性立方样模型分析累积有效剂量与放射工作人员甲状腺激素水平变化 β 系数的剂量-反应关系,该模型在第 1、25、50、75 和 95 百分位数处 5 个节点对关联进行建模。统计分析采用双侧检验,检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 基本情况 研究共纳入 1237 名放射工作人员,基线年龄为 18~71 岁,平均年龄 (36.5 ± 10.0) 岁;放射工龄为 0~46.4 年,平均工龄 (9.6 ± 8.3) 年;研究期间累积有效剂量 Hp(10)为 0.212~31.272 mSv,平均累积有效剂量 (3.299 ± 1.640) mSv,其中最长时间间隔小于 4 年,最大累积有效剂量小于 80 mSv,所有累积有效剂量值均低于国家累积年剂量标准限值。性别、工龄、职业及医疗等级在不同剂量组的分布差异有统计学意义($P < 0.05$),年龄和吸烟的分布差异无统计学意义($P > 0.05$)。研究对象基线特征见表 1。

表 1 1237 名放射工作人员基线特征 [n (%)]Table 1 baseline characteristics of 1237 radiologists [n (%)]

变量	人数	0~2.586 mSv ($n=317$)	2.586~3.757 mSv ($n=613$)	3.758~31.272 mSv ($n=307$)	χ^2 值	P 值
性别					7.032	0.030
男	901	249(78.55)	434(70.80)	218(71.01)		
女	336	68(21.45)	179(29.20)	89(28.99)		
年龄/岁					9.007	0.173
< 30	313	80(25.24)	150(24.47)	83(27.04)		
30~	489	141(44.48)	241(39.31)	107(34.85)		
40~	295	60(18.93)	156(25.45)	79(25.73)		
≥ 50	140	36(11.36)	66(10.77)	38(12.38)		
工龄/年					29.668	<0.001
< 10	767	235(74.13)	363(59.22)	169(55.05)		
10~	311	59(18.61)	165(26.92)	87(28.34)		
≥ 20	159	23(7.26)	85(13.87)	51(16.61)		
职业					25.332	<0.001
放射医师	791	233(73.50)	375(61.17)	183(59.61)		
放射技师	293	45(14.20)	164(26.75)	84(27.36)		
放射护士	103	24(7.57)	48(7.83)	31(10.10)		
其它	50	15(4.73)	26(4.24)	9(2.93)		
医疗等级					11.908	0.018
一级及以下	216	57(17.98)	119(19.41)	40(13.03)		
二级	395	84(26.50)	204(33.28)	107(34.85)		
三级	626	176(55.52)	290(47.31)	160(52.12)		
吸烟					0.261	0.877
否	918	237(74.76)	451(73.57)	230(74.92)		
是	319	80(25.24)	162(26.43)	77(25.08)		

2.2 不同辐射累积有效剂量组放射工作人员甲状腺激素水平变化的比较 放射工作人员 T4 水平变化在不同电离辐射剂量组间的差异有统计学意义($P=0.025$), 其中 2.586~3.757 mSv 组水平变化最大, 为 (9.40 ± 19.41) nmol/L。FT3 变化在 3.758~31.272 mSv

组水平最小, 为 (-0.27 ± 0.79) nmol/L, 不同剂量组间的差异有统计学意义($P=0.015$)。T3、TSH、FT4 水平的变化在不同剂量组间差异无统计学意义($P>0.05$), 见表 2。

表 2 1237 名放射工作人员甲状腺激素水平变化在不同累积辐射剂量组的比较 ($\bar{x} \pm s$)Table 2 Comparison of thyroid hormone levels in 1237 radiation medical staff in different cumulative radiation dose groups ($\bar{x} \pm s$)

电离累积辐射剂量	d_{T3} (nmol/L)	d_{T4} (nmol/L)	d_{TSH} (uIU/ml)	d_{FT3} (pmol/L)	d_{FT4} (pmol/L)
0~2.586 mSv	-0.18 ± 0.33	5.98 ± 19.00	-0.01 ± 0.82	-0.46 ± 1.31	-0.07 ± 2.28
2.586~3.757 mSv	-0.23 ± 0.53	9.40 ± 19.41	-0.11 ± 3.18	-0.46 ± 1.46	0.04 ± 1.81
3.758~31.272 mSv	-0.20 ± 0.26	7.22 ± 18.29	-0.15 ± 4.13	-0.27 ± 0.79	-0.23 ± 1.63
F 值	1.71	3.69	0.45	4.24	2.59
P 值	0.181 ^a	0.025	0.638 ^a	0.015 ^a	0.076 ^a

注: ^a表示方差不齐, 用 Welch 校正自由度; $d_{T3} = T3_{\text{结束}} - T3_{\text{入组}}$; $d_{T4} = T4_{\text{结束}} - T4_{\text{入组}}$; $d_{TSH} = TSH_{\text{结束}} - TSH_{\text{入组}}$; $d_{T4} = T4_{\text{结束}} - T4_{\text{入组}}$; $d_{FT3} = FT3_{\text{结束}} - FT3_{\text{入组}}$ 。

2.3 电离辐射累积有效剂量与放射工作人员 T4、FT3 水平变化的关联 表 3 显示, FT3 水平变化在不同累积辐射剂量组间的差异无统计学意义($P > 0.05$)。以 0~2.586 mSv 为参照组, 年龄与性别调整后(模型一), 不同累积有效剂量与放射工作人员 T4 水平变化存在统计学关联($P < 0.05$)。考虑工龄、职业及医疗

等级后(模型二), 累积辐射剂量 2.586~3.757 mSv 者 T4 水平变化增大。在模型一和模型二的基础上进一步调整吸烟习惯后(模型三), 2.586~3.757 mSv ($\beta = 3.514$, 95%CI: 0.900~6.128)是放射工作人员 T4 水平变化增大的危险因素, 线性趋势检验无统计学意义($P = 0.718$)。

表 3 电离辐射累积有效剂量与放射工作人员 T4、FT3 水平变化的关联

Table 3 association between cumulative effective dose of ionizing radiation and changes of T4 and FT3 levels in medical staff

调整情况	累积辐射剂量	β^1	P^1	95%CI ¹	β^2	P^2	95%CI ²
模型一	0~2.586 mSv			1.000			1.000
	2.586~3.757 mSv	3.541	0.007	0.955~6.127	0.004	0.968	-0.172~0.179
	3.758~31.272 mSv	1.357	0.374	-1.633~4.347	0.191	0.065	-0.012~0.393
模型二	0~2.586 mSv			1.000			1.000
	2.586~3.757 mSv	3.535	0.008	0.919~6.152	0.014	0.878	-0.162~0.190
	3.758~31.272 mSv	1.497	0.332	-1.530~4.524	0.232	0.025	0.029~0.436
模型三	0~2.586 mSv			1.000			1.000
	2.586~3.757 mSv	3.514	0.008	0.900~6.128	0.013	0.888	-0.163~0.189
	3.758~31.272 mSv	1.513	0.327	-1.510~4.537	0.233	0.025	0.030~0.437

注: 模型一调整性别、年龄; 模型二在模型一的基础上调整工龄、职业及医疗等级; 模型三在模型一和模型二的基础上进一步调整吸烟习惯。¹ T4 水平变化的分析; ² FT3 水平变化的分析。

2.4 电离辐射累积有效剂量与放射工作人员 T4 水平变化的剂量-反应关系 调整性别、年龄、工龄、职业、医疗等级及吸烟习惯后, 采用限制性立方样条模型分析电离辐射累积有效剂量与放射工作人员 T4 水平变化的剂量-反应关系, 根据四分位数间距选择 5 个节点分别是 0.212 mSv、2.586 mSv、3.317 mSv、3.757 mSv、4.792 mSv, 结果显示, 累积有效剂量与 T4 水平变化呈非线性剂量反应关系, 非线性趋势检验有统计学意义($P = 0.023$)。如图 1。

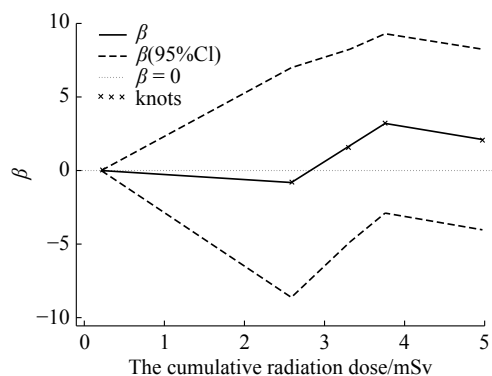


图 1 限制性立方样条模型分析电离辐射累积有效剂量与放射工作人员 T4 水平变化的剂量反应关系

Figure 1 Analysis of dose response relationship between cumulative effective dose of ionizing radiation and T4 level change of radiation medical staff by using restricted cubic spline model

3 讨论

低剂量电离辐射对放射工作人员的甲状腺功能产生一定的损伤^[3-7], 而甲状腺激素水平的变化能早期提示甲状腺功能的改变, 基于国内外电离辐射剂量与甲状腺激素水平变化剂量-反应关系的有限研究, 本研究发现: 东莞市放射工作人员电离辐射累积有效剂量远低于国家标准的剂量限值, 调整混杂因素之后, 累积有效剂量连续变化与 T4 水平变化显著关联, 二者呈非线性剂量-反应关系。

本研究结果显示, 研究期间甲状腺激素水平变化差值标准差范围较大, 数值相对离散, 说明放射工作人员甲状腺激素水平存在个体差异。低剂量电离辐射累积有效剂量与放射工作人员甲状腺激素中的 T4 变化显著相关, 提示长期低剂量电离辐射对甲状腺功能会造成一定程度的损伤, 这与南京市^[14]2936 名放射工作人员 T4 水平降低, 接触电离辐射时间越长, 损伤越大一致, 与南通市^[15]低剂量电离辐射对 1110 名放射工作人员甲状腺的影响与接触射线工龄长短无明显相关性但会对放射工作人员的甲状腺功能产生一定的影响一致。甲状腺是人体最大的内分泌腺, 也是对电离辐射敏感性较高的器官之一, 应该

加强放射防护的管理。

本研究对累积有效剂量进行限制性立方样条分析,结果显示累积有效剂量与 T4 水平变化存在非线性剂量-反应关系。广州市、佛山市相关研究均发现放射人员长期接触低剂量电离辐射甲状腺激素 T4 水平升高^[16-17]。南京市放射工作人员长期接触低剂量电离辐射可引起甲状腺激素水平 T3、FT3 降低^[18]。提示长期低剂量电离辐射影响放射工作人员甲状腺激素的改变^[10-12]。值得关注的是,本次研究从放射工作人员甲状腺激素电离辐射剂量学上进行评估发现:电离辐射累积剂量与甲状腺激素中 T4 水平变化呈非线性剂量反应关系,对国家剂量年限标准的调整提供数据支持。

尽管辐射有效剂量在规定限值内,长期低剂量电离辐射仍对放射工作人员甲状腺造成一定的损伤,导致甲状腺激素水平改变,且辐射剂量与甲状腺激素水平变化之间存在剂量反应关系,建议放射工作人员严格遵守放射防护准则,提高放射防护意识,改善防护条件,加强对甲状腺部位的放射防护。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,排名无争议。文章不涉及任何利益冲突

作者贡献声明 张曼宇负责本研究的实验设计和执行实验研究、数据分析、论文初稿的写作;刘宁、陈惠鹏、叶小华、姚振江负责参与实验设计和试验结果分析;钟新光负责项目的构思、指导实验设计、数据分析、论文写作与修改

参考文献

- [1] Dauer LT. Exposed medical staff: challenges, available tools, and opportunities for improvement[J]. *Health Phys*, 2014, 106 (2): 217-224. DOI: 10.1097/HP.0000000000000001.
- [2] Cohen SA, Rangarajan SS, Chen T, et al. Occupational hazard: radiation exposure for the urologist—developing a reference standard[J]. *Int Braz J Urol*, 2013, 39 (2): 209-213. DOI: 10.1590/S1677-5538.IBJU.2013.02.09.
- [3] Vimercati L, de Maria L, Mansi F, et al. Prevalence of thyroid diseases in an occupationally radiation exposed group: a cross-sectional study in a university hospital of southern Italy[J]. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets*, 2019, 19 (6): 803-808. DOI: 10.2174/1871530318666181102114627.
- [4] 高锦, 瞿述根, 沈月平, 等. 低剂量电离辐射对放射工作人员甲状腺功能影响的 Meta 分析[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2017, 37 (10): 777-785. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.10.011.
- [5] 马微, 时庆华, 陈丹, 等. 江西省 2014 年部分医用放射工作人员甲状腺功能分析[J]. *中国职业医学*, 2017, 44 (6): 774-777. DOI: 10.11763/j.issn.2095-2619.2017.06.024.
- [6] 郝述霞, 刘晓惠, 范胜男, 等. 2015—2017 年我国部分诊疗机构放射工作人员职业健康监测调查与分析[J]. *中国辐射卫生*, 2019, 28 (6): 614-616, 620. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714x.2019.06.004.
- [7] 王洁, 张涵宇, 郭家龙, 等. 甘肃省 3 家医院核医学科放射工作人员内照射水平分析[J]. *中国辐射卫生*, 2020, 29 (4): 357-361. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.04.009.
- [8] Luna-Sánchez S, Del Campo MT, Morán JV, et al. Thyroid function in health care workers exposed to ionizing radiation[J]. *Health Phys*, 2019, 117 (4): 403-407. DOI: 10.1097/hp.0000000000001071.
- [9] Wong YS, Cheng YY, Cheng TJ, et al. The relationship between occupational exposure to low-dose ionizing radiation and changes in thyroid hormones in hospital workers[J]. *Epidemiol Camb Mass*, 2019, 30 (Suppl 1): S32-S38. DOI: 10.1097/EDE.0000000000001004.
- [10] 吴圻荣, 林芝源, 吴智君. 2018 年茂名地区放射作业人员甲状腺功能水平分析[J]. *职业与健康*, 2020, 36 (2): 244-246. DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2020.0064.
- [11] 董华凰, 王建国, 郭向云, 等. 接触射线科研人员淋巴细胞微核及甲状腺功能分析[J]. *职业与健康*, 2020, 36 (3): 292-295. DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2020.0076.
- [12] Dong HH, Wang JG, Guo XY, et al. Study on lymphocyte micronucleus and thyroid function in scientific research workers exposed to ionizing radiation[J]. *Occup Heal*, 2020, 36 (3): 292-295. DOI: 10.13329/j.cnki.zyyjk.2020.0076.
- [13] Ma W, Shi QH, Chen D, et al. Analysis on thyroid function of medical radiation workers in Jiangxi Province in 2014[J]. *China Occup Med*, 2017, 44 (6): 774-777. DOI: 10.11763/j.issn.2095-2619.2017.06.024.
- [14] Hao SX, Liu XH, Fan SN, et al. Investigation and analysis of occupational health monitoring of radiation professionals in radiology clinics from 2015 to 2017[J]. *Chin J Radiol Health*, 2019, 28 (6): 614-616, 620. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714x.2019.06.004.
- [15] Wang J, Zhang HY, Wu JL, et al. Analysis of radiation internal exposure in nuclear medicine staff of three hospitals in Gansu Province[J]. *Chin J Radiol Health*, 2020, 29 (4): 357-361. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.04.009.
- [16] Gao J, Qu SG, Shen YP, et al. Effect of low dose ionizing radiation on thyroid function in radiation workers: a Meta analysis[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2017, 37 (10): 777-785. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.10.011.

- Liu FJ, Xu GQ. Epidemiological analysis of effects of low-dose ionizing radiation on human peripheral blood[J]. *Diet Heal*, 2018, 5 (48) : 5-6. DOI: [10.3969/j.issn.2095-8439.2018.48.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-8439.2018.48.006).
- [12] 林朝杰, 何祥金, 刘军, 等. 内江市近五年放射工作人员体检结果分析研究[J]. *中国辐射卫生*, 2004, 13 (1) : 61-62. DOI: [10.3969/j.issn.1004-714X.2004.01.035](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-714X.2004.01.035).
- Lin (C/Z)J, He XJ, Liu J, et al. The analysis of health management status of radiation workers in recent 5 years in Neijiang[J]. *Chin J Radiol Health*, 2004, 13 (1) : 61-62. DOI: [10.3969/j.issn.1004-714X.2004.01.035](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-714X.2004.01.035).
- [13] 侯巍. 放射工作人员红细胞免疫功能观察[J]. *工业卫生与职业病*, 2005, 31 (6) : 422. DOI: [10.3969/j.issn.1000-7164.2005.06.022](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-7164.2005.06.022).
- Hou W. Observation of erythrocyte immune function in radiation exposed workers[J]. *Ind Heal Occup Dis*, 2005, 31 (6) : 422. DOI: [10.3969/j.issn.1000-7164.2005.06.022](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-7164.2005.06.022).
- [14] 那向杰, 付丽丽, 单铁梅, 等. 介入放射工作人员染色体畸变和微核观察[J]. *中国辐射卫生*, 2020, 29 (1) : 13-16. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2020.01.003](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2020.01.003).
- Na XJ, Fu LL, Shan TM, et al. Observation of chromosome aberration and micronucleus in interventional radiology workers[J]. *Chin J Radiol Health*, 2020, 29 (1) : 13-16. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2020.01.003](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2020.01.003).
- [15] 钱庆增, 曲艺, 王光大, 等. 医院放射人员染色体畸变与累积辐射剂量的关系研究[J]. *河北医药*, 2017, 39 (7) : 968-972. DOI: [10.3969/j.issn.1002-7386.2017.07.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-7386.2017.07.002).
- Qian QZ, Qu Y, Wang GD, et al. Correlation between chromosome aberration and cumulative radiation dose in hospital radiation personnel[J]. *Hebei Med J*, 2017, 39 (7) : 968-972. DOI: [10.3969/j.issn.1002-7386.2017.07.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-7386.2017.07.002).
- [16] 赵博兰, 刘喜房, 赵永军, 等. 保定市843名放射工作人员职业健康状况[J]. *医学研究与教育*, 2020, 37 (3) : 55-59. DOI: [10.3969/j.issn.1674-490X.2020.03.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-490X.2020.03.009).
- Zhao BL, Liu XF, Zhao YJ, et al. The health status of workers occupationally exposed to radiation in Baoding City[J]. *Med Res Educ*, 2020, 37 (3) : 55-59. DOI: [10.3969/j.issn.1674-490X.2020.03.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-490X.2020.03.009).
- [17] 陈岩, 张圆圆, 张伟佳, 等. 介入、核医学放射工作人员外照射个人剂量水平调查与分析[J]. *中国辐射卫生*, 2018, 27 (1) : 5-8. DOI: [10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2018.01.002](https://doi.org/10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2018.01.002).
- Chen Y, Zhang YY, Zhang WJ, et al. Investigation and analysis of individual dose levels of external radiation in interventional and nuclear medicine radiation workers[J]. *Chin J Radiol Health*, 2018, 27 (1) : 5-8. DOI: [10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2018.01.002](https://doi.org/10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2018.01.002).

(收稿日期: 2020-12-07)

(上接第 401 页)

- [12] 杨勇文, 杨爱初, 刘庆凤, 等. 广东省790名医院放射工作人员职业健康资料分析[J]. *中国职业医学*, 2018, 45 (6) : 793-796.
- Yang YW, Yang AC, Liu QF, et al. Occupational health examination data of 790 radiation workers from hospitals of Guangdong Province[J]. *China Occup Med*, 2018, 45 (6) : 793-796.
- [13] 国家质量监督检验检疫总局. GB18871—2002电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- General Administration of quality supervision, inspection and Quarantine of the people's Republic of China. GB 18871—2002 basic standard for protection against ionizing radiation and safety of radiation sources[S]. Beijing: Standards Press of China, 2003.
- [14] 董翔, 夏青, 潘丽萍. 南京市放射工作人员甲状腺检查结果分析[J]. *中国工业医学杂志*, 2020, 33 (4) : 342-345. DOI: [10.13631/j.cnki.zggyyx.2020.04.020](https://doi.org/10.13631/j.cnki.zggyyx.2020.04.020).
- Dong X, Xia Q, Pan LP. Analysis of thyroid examination results of radiological workers in Nanjing City[J]. *Chin J Ind Med*, 2020, 33 (4) : 342-345. DOI: [10.13631/j.cnki.zggyyx.2020.04.020](https://doi.org/10.13631/j.cnki.zggyyx.2020.04.020).
- [15] 沙磊, 谭维维. 南通市2014年放射工作人员健康监护结果分析[J]. *中国辐射卫生*, 2017, 26 (1) : 44-48. DOI: [10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2017.01.018](https://doi.org/10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2017.01.018).
- Sha L, Tan WW. Analysis of health surveillance results of radiation workers in Nantong City in 2014[J]. *Chin J Radiol Health*, 2017, 26 (1) : 44-48. DOI: [10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2017.01.018](https://doi.org/10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2017.01.018).
- [16] 吕扬阳, 王志斌, 张洋, 等. 医用电离辐射对放射工作人员甲状腺功能及结节的影响[J]. *职业与健康*, 2018, 34 (4) : 446-449. DOI: [10.13329/j.cnki.zyyjk.2018.0127](https://doi.org/10.13329/j.cnki.zyyjk.2018.0127).
- Lv YY, Wang ZB, Zhang Y, et al. Influence of medical ionizing radiation on thyroid function and nodules of radiation workers[J]. *Occup Heal*, 2018, 34 (4) : 446-449. DOI: [10.13329/j.cnki.zyyjk.2018.0127](https://doi.org/10.13329/j.cnki.zyyjk.2018.0127).
- [17] 石瑞芬, 董雪梅, 陈松根, 等. 某市医用放射工作人员甲状腺功能调查与分析[J]. *中国辐射卫生*, 2018, 27 (1) : 28-30. DOI: [10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2018.01.008](https://doi.org/10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2018.01.008).
- Shi RF, Dong XM, Chen SG, et al. Analysis on thyroid function of medical radiation workers in a City[J]. *Chin J Radiol Health*, 2018, 27 (1) : 28-30. DOI: [10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2018.01.008](https://doi.org/10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2018.01.008).
- [18] 涂雷, 谭成普, 李秀婷, 等. 某市三甲医院医疗职业人群甲状腺功能调查分析[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2019, 37 (2) : 122-126.
- Tu L, Tan CP, Li XT, et al. Investigation and analysis of thyroid function of medical occupational population in a tertiary-A hospital in Nanjing[J]. *Chin J Ind Hyg Occup Dis*, 2019, 37 (2) : 122-126.

(收稿日期: 2020-11-17)