

体外直接检测法评估南京市3家医院核医学工作人员的内照射个人剂量水平

马加一, 史晓东

江苏省疾病预防控制中心, 江苏 南京 210009

摘要:

[背景] 随着医疗技术的发展, 放射性核素特别是 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 被广泛应用于医学诊断与治疗过程当中。对于经常接触放射性核素的医护人员, 其内照射剂量应当进行监测。

[目的] 本研究对南京三家具有一定规模的三甲医院共21名接触放射性 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 的核医学科放射工作人员利用全身计数器进行体外直接测量, 并结合接触情况对高于探测限的 ^{131}I 放射工作人员的摄入量、待积有效剂量进行估算。

[方法] 测量采用高纯锗探测器, 固定采集从颈部到髋部 γ 谱, 一次采集两次分析的方法。首先分别对分布于甲状腺和全身两种情况利用标准源分别刻度两条效率曲线。在检测过程当中, 在对被检测人员采集数据过后, 利用甲状腺效率曲线分析 ^{131}I 含量, 利用全身效率曲线计算的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 含量。计算结果利用长期摄入模型推知其14d工作周期内摄入量, 利用摄入量计算监测周期内的待积有效剂量, 假设在本次测量具有代表性的前提下利用本次摄入量推知年待积有效剂量。

[结果] 从事 ^{131}I 相关工作人员共9人, 在其中5人体内检出 ^{131}I ; 从事 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 相关工作的工作人员共9人, 其中1人体内检出 $^{99\text{m}}\text{Tc}$; 从事 ^{18}F 相关工作人员16人, 所有人体内均未检出 ^{18}F 。 ^{131}I 污染高于探测限的5名工作人员监测周期内最高待积有效剂量为0.92mSv, 平均待积有效剂量为0.27mSv。年平均待积有效剂量为7.0mSv, 最高达到24.0mSv。

[结论] 本次调查中, 被检出人员平均剂量高于必须进行内照射监测的1mSv限值, 即使考虑到检出率的影响, 内照射对年剂量的贡献依旧不可以被忽略。估算的最高剂量甚至突破了5年平均剂量限值, 对于 ^{131}I 工作人员的内照射监测工作刻不容缓。

关键词: 内照射; 待积有效剂量; 职业暴露; ^{131}I ; $^{99\text{m}}\text{Tc}$; ^{18}F

Individual dose of radiation internal exposure by *in vitro* detection in nuclear medicine staff of three hospitals in Nanjing MA Jia-yi, SHI Xiao-dong (Jiangsu Provincial Center for Disease Control and Prevention, Nanjing, Jiangsu 210009, China)

Abstract:

[Background] The development of medical technology has given rise to the use of radionuclides, especially ^{18}F , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, and ^{131}I , in medical diagnosis and therapies. It is necessary to implement regular internal exposure monitoring for the medical staff who are occupationally exposed to radionuclides.

[Objective] This study aims to measure the individual doses in 21 nuclear medicine personnel exposed to radionuclides ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, and ^{18}F from three sizable Class-A tertiary hospitals in Nanjing, and to estimate the intake and committed effective dose of those with higher-than-detection-limit ^{131}I exposure.

[Methods] The gamma spectrum from neck to hip was collected with high purity germanium detector, and the single measurement was used for two analyses. Firstly, two efficiency curves for thyroid and whole body were graduated respectively using standard sources. After data collection, the efficiency curve of thyroid was used to calculate ^{131}I dose, and the whole-body efficiency curve was used to calculate $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dose and ^{18}F dose. The calculation results were used to derive 14-day intake by long-term intake model; the 14-day intake was used to calculate 14-day committed effective dose and annual committed effective dose under the premise of a representative measurement.

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2019.18722

基金项目

江苏省卫生计生委卫生标准研究课题 (S2017003); 江苏省流行病学重点学科 (ZDXK A 2016008); 江苏省医学创新团队 (CXTD A2017029)

作者简介

马加一 (1983—), 男, 博士, 工程师;
E-mail: jsdcma@vip.163.com

通信作者

史晓东, E-mail: Shixd@jscdc.cn

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2018-10-31

录用日期 2019-03-14

文章编号 2095-9982(2019)06-0549-05

中图分类号 R148

文献标志码 A

引用

马加一, 史晓东. 体外直接检测法评估南京市3家医院核医学工作人员的内照射个人剂量水平[J]. 环境与职业医学, 2019, 36(6): 549-553.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2019.18722

Funding

This study was funded.

Correspondence to

SHI Xiao-dong, E-mail: Shixd@jscdc.cn

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2018-10-31

Accepted 2019-03-14

To cite

MA Jia-yi, SHI Xiao-dong. Individual dose of radiation internal exposure by *in vitro* detection in nuclear medicine staff of three hospitals in Nanjing[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2019, 36(6): 549-553.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2019.18722

[Results] There were 9 nuclear medicine staff reporting occupational exposure to ^{131}I , and 5 of them were detected ^{131}I positive. There were 9 staff reporting occupational exposure to $^{99\text{m}}\text{Tc}$, and 1 of them were detected $^{99\text{m}}\text{Tc}$ positive. There were 16 staff applying ^{18}F , and all of them were detected ^{18}F positive. Of the 5 staff whose ^{131}I exposure levels were higher than detection limit, the highest 14-day committed effective dose was 0.92 mSv, the average 14-day committed effective dose was 0.27 mSv, and the annual average committed effective dose was 7.0 mSv with a peak value of 24 mSv.

[Conclusion] The investigation results show that the annual average committed effective dose of the positive exposed staff is higher than the limit of 1 mSv, indicating that they are required to implement radiation internal exposure monitoring. Even taking into account the positive exposure rate, internal exposure makes considerable contribution to annual committed effective dose. The highest estimate exceeds the limit of 5-year average of committed effective dose. Therefore, the radiation internal exposure monitoring for the nuclear medicine staff exposed to radionuclide ^{131}I is a task brooking no delay.

Keywords: radiation internal exposure; committed effective dose; occupational exposure; ^{131}I ; $^{99\text{m}}\text{Tc}$; ^{18}F

随着医疗技术的发展,放射性核素特别是 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 广泛应用于医学诊断与治疗^[1-3]。对于经常接触放射性核素的医护人员,其内照射剂量应当进行监测^[4]。国内对内照射的防护工作主要集中在建设项目职业病危害放射防护的评价过程中^[5-6],主要关注工作场所的表面污染、空气气溶胶等方面^[7-8]。但对于同一环境下工作的不同医护人员而言,其内照射情况并不完全相同,随其工作情况有着较大差异,而空气采样分析的结果往往不能体现这种差异,体外直接测量可以更准确地评估每名工作人员的内照射情况。

随着技术的不断进步,通过体外直接测量方式和其他方式对个体内照射情况的研究也在逐步开展^[9]。国际放射防护委员会(International Commission on Radiological Protection, ICRP)的剂量系数估算方法实际上将内照射剂量估算问题转化为了摄入量估算问题,这套方法已成为内照射估算的基本方法^[10]。

为了开展对江苏省全省范围内医护人员内照射情况调查工作,需要对此项工作所涉及的调查对象情况进行初步掌握,并且对调查手段进行可行性验证。因此本研究通过体外直接测量,评估了南京市3家医院核医学工作人员内照射的个体差异性,并对高于探测下限的人员进行了剂量估算,对摄入 ^{131}I 的人员情况进行了器官剂量估算,从而初步了解该市医护人员放射性内照射的现状。

1 材料与方法

1.1 调查对象

调查开始前,江苏省疾病预防控制中心伦理委员会审查了本项目的知情同意书和开展计划,确认符合《赫尔辛基宣言》相关要求。经过伦理委员会批准,选择南京市3家具有一定规模的三甲医院,公开征集参与预调查的志愿者。本着工作单位同意,本人自愿参

加的原则,如实告知风险,最终21名医护人员签署了知情同意书,纳入本研究。调查人员登记每名工作人员放射核素的接触情况,包括最近接触核素的种类、接触周期、操作量等,随后进行内照射体外直接测量。

1.2 内照射体外直接检测

1.2.1 材料 测量采用的仪器是美国Canberra公司生产的ACCUSCAN Model 2260水平床全身扫描计数器,为床式阴影屏蔽设计,探测器测量范围为探测器下前后1 m范围。探测器部分配备有一具碘化钠探头以及一具型号为GR5021的高纯锗探头。使用该公司制造的Model 2257A转移模体进行刻度。模体满足美国国家标准学会(American National Standards Institute, ANSI) N13.30要求,可以对甲状腺、肺部、全身分布的核素进行刻度,在进行甲状腺刻度时模体与ANSI-N-44.3甲状腺模体等效,在进行全身刻度时刻度与瓶式人体吸收(Bottle Mannequin Absorber, BOMAB)全身刻度等效。模体示意图如图1。

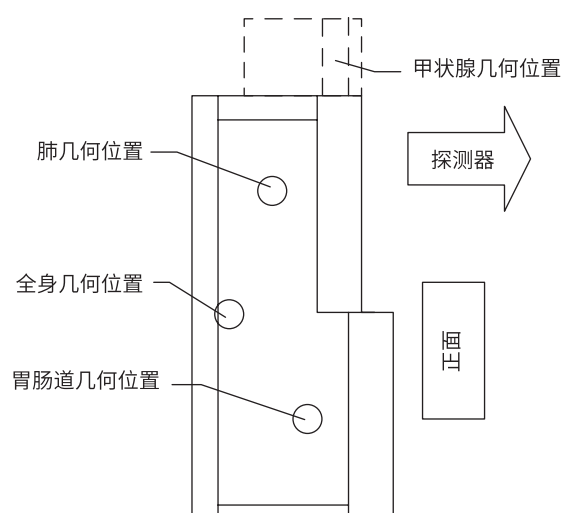


图1 Canberra Model 2257A转移模体示意图

刻度源为德国Eckert & Ziegler公司生产同位素放

射源, 主要包含的核素为: ^{109}Cd 、 ^{57}Co 、 ^{139}Ce 、 ^{133}Sn 、 ^{203}Hg 、 ^{113}Sn 、 ^{137}Cs 、 ^{88}Y 、 ^{60}Co 、 ^{88}Y 等, 密封于 20 mL 液闪瓶中。考虑到本次实验需要同时测量多种核素, 碘化钠探测器的能量分辨率较低, 在多种核素测量时有可能相互干扰, 因此仅采用高纯锗探测器进行测量。高纯锗探测器于 2017 年 3 月 17 日由上海市剂量测试技术研究院校准。

本次实验测量和刻度均主要采用 GR5021 探头进行探测, 探头能量分辨率为 1.92 keV (^{60}Co , 1332 keV), 8 h 稳定性为 0.09% (^{137}Cs , 661.6 keV), 相对探测效率为 28.6%。

1.2.2 方法 考虑到可能存在表面污染干扰测量结果, 同时被测量的核素中 ^{131}I 几乎只分布在甲状腺, 而 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为全身分布, 分布方式不同, 所以采取一次采集数据两次分析的方法。一次采集数据时采用从头部到腕部的上半身固定测量。采集数据以后对数据进行两次效率曲线法分析: 一次采用甲状腺刻度, 记录分析结果中的 ^{131}I 活度值; 一次采用全身刻度, 记录结果中的 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 值。刻度时将模体放置于扫描床上使其位置与被测者测量时位置尽量保持一致, 首先将源放置于模体中甲状腺几何位置, 移动扫描床位置, 将探测器中心点对准模体颈部与胸部结合处的位置, 采集一次数据, 根据数据结果刻度甲状腺测量效率曲线。然后将源重新放置于模体中全身几何位置, 重复以上步骤, 得到全身测量效率曲线。测量按照 WS/T 584—2017《人体内放射性核素全身计数测量方法》^[11] 进行。测量时让接受测量的工作人员平躺于扫描床上, 控制扫描床位置, 使探测器中心点对准工作人员颈部与胸部结合处, 后开始采集数据, 期间扫描床不再移动, 测量时间为 10 min。结果分析时首先用甲状腺刻度效率曲线分析放射性 ^{131}I 的活度, 再用全身测量效率曲线分析 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的活度。对于未超过探测下限的活度记录测量时的探测下限。

1.3 内照射估算方法

由于本次检测中无人体内 ^{18}F 活度超过探测限, 仅有的 1 名人员体内 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度超过探测限, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 对该人员造成的内照射剂量相对于 ^{131}I 可以忽略不计, 因此只计算体内 ^{131}I 的内照射剂量。内照射个人剂量估算按照 ICRP 第 130^[12]、134^[13]、137^[14] 号报告书进行。由于部分核素参数尚未出版, 同时参考 ICRP 第 68^[15] 号报告书、GBZ 129—2016《职业性内照射个人监测规范》^[4] 和 GB/T 16148—2009《放射性核素摄入量及内

照射剂量估算规范》^[16]。估算仅限于高于探测下限的核素, 对于低于者予以忽略。医护人员放射性核素的摄入是来源于工作场所气溶胶的长期吸入, 因此采用长期摄入模型进行估算。对放射工作人员进行职业健康监护采取周期性监测方式进行, 估算内照射剂量时也应根据监测周期进行计算。

由于 ^{131}I 半衰期较长, 因此其摄入量计算公式为: $I=M/m(T/2)$ 。式中: I ——放射性核素摄入量, Bq; M ——检测周期 T 末所测得的体内或器官内放射性核素活度, Bq; $m(T/2)$ ——摄入单位活度后 $T/2$ 时体内或器官内放射性核素活度或日排泄量的预期值, Bq。

待积有效剂量计算公式为: $E=I_{jp}e_{jp}$ 。式中: E ——待积有效剂量, Sv; I_{jp} —— j 类核素通过 p 类途径摄入的摄入量, Bq; e_{jp} —— j 类核素通过 p 类途径的剂量系数, Sv/Bq。假设本次测量有代表性, 可以通过周期性监测推算年待积有效剂量。

2 结果

从事 ^{131}I 相关工作人员 9 人, 其中 5 人体内检出 ^{131}I , 检出率为 55.6%; 从事 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 相关工作的工作人员 9 人, 其中 1 人体内检出 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 检出率为 11.1%; 从事 ^{18}F 相关工作人员 16 人, 所有人体内均没有检出 ^{18}F 。从检出 ^{131}I 人员的工作岗位看, 5 人中 4 人为护士, 1 人为接触患者的医生。参与本次调查操作 ^{131}I 的 5 名护士中 4 人检出 ^{131}I , 检出率为 80%。见表 1。

表 1 南京市 21 名核医学工作人员接触放射性核素情况

医院	人员编号	工作岗位	接触核素	操作方式	操作周期	操作量 (GBq)	检测结果 (kBq)
A	1	护士	^{131}I	给药	15 日	7.4	1.1
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	注射	每日	15~22	1.2
	2	护士	^{131}I	给药	15 日	7.4	0.56
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	注射	每日	15~22	<0.74
	3	技师	^{131}I	接触患者	每日	—	<0.15
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	接触患者	每日	—	<0.78
	4	护士	^{131}I	护理	每日	—	<0.16
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	注射	每日	—	<0.70
	5	医生	^{131}I	接触患者	每日	—	0.40
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	接触患者	每日	—	<0.43
	6	护士	^{18}F	注射	每日	4.4	<0.43
	7	护士	^{18}F	注射	每日	4.4	<0.46
	8	护士	^{18}F	注射	每日	4.4	<0.76
	9	护士	^{18}F	注射	每日	4.4	<0.87
	10	技师	^{18}F	接触患者	每日	—	<0.88
	11	医生	^{18}F	接触患者	每日	—	<0.92
	12	医生	^{18}F	接触患者	每日	—	<0.29
	13	护士	^{18}F	注射	每日	3.7	<0.60

续表 1

医院	人员编号	工作岗位	接触核素	操作方式	操作周期	操作量 (GBq)	检测结果 (kBq)
B	14	技师	^{18}F	摆位	每日	—	<0.072
	15	护士	^{18}F	注射	每日	1.0	<0.082
	16	医生	^{18}F	接触患者	每日	—	<0.084
	17	医生	^{18}F	接触患者	每日	—	<0.086
C	18	护士	^{131}I	给药	14 日	7.4	0.73
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	注射	每日	15~22	<0.38
	19	护士	^{131}I	给药	14 日	7.4	6.2
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	注射	每日	15~22	<0.97
	20	技师	^{131}I	接触患者	每日	—	<2.4
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	接触患者	每日	—	<0.83
	21	医生	^{131}I	接触患者	每日	—	<1.7
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	接触患者	每日	—	<0.41

表 2 为对表 1 中 5 名 ^{131}I 检测结果高于探测限的工作人员进行的剂量估算。根据调查, T 为 14 d。对于吸入 ^{131}I , 所有化合形态均为 F 类, 其 $m(T/2)$ 值为 $7.4 \times 10^{-2} \text{Bq}^{[4]}$ 。所有核素摄入途径为吸入, 根据 GBZ 129—2016, 气溶胶的活度中值空气动力学直径 (activity median aerodynamic diameter, AMAD) 取 $5 \mu\text{m}$, 化合形态取 F 类, $e_{\text{IP}} = 1.1 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq}^{[4]}$ 。从结果中可见, 在 ^{131}I 高于探测限的工作人员中最高待积有效剂量为 0.92 mSv, 平均为 0.27 mSv, 最高年待积有效剂量为 24 mSv, 平均为 7.0 mSv。

表 2 南京市 21 名核医学工作人员中放射性核素检出者的内照射剂量估算

人员编号	^{131}I 摄入量估算 (kBq)	待积有效剂量估算 (mSv)	年待积有效剂量 (mSv)
1	15.0	0.16	4.3
2	7.6	0.08	2.2
5	5.4	0.06	1.5
18	9.8	0.11	2.8
19	83.0	0.92	24.0
均值	24.0	0.27	7.0

3 讨论

本次调查结果显示, 南京市 3 家医院 21 名核医学工作人员 ^{131}I 检出率大于 50%, 呈现较高水平, 护士检出率和体内放射性污染物活度都明显高于其他岗位, 说明护士由于直接操作 ^{131}I 更容易受到污染, 须重点监测。虽然医生体内 ^{131}I 检出率较低, 但是由于 ^{131}I 进入人体的主要途径是空气气溶胶吸入, 因此对于在核医学科工作环境中的人员均有进行内照射监测的必要。相关数据除最高值外, 其他与中国疾病预防控制中心对 3 家医院 97 名核医学工作人员调查得到

的结果一致^[9]。在工作人员体内较少检出 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{18}F , 其主要原因是 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{18}F 半衰期较短, 分别为 6.0 h 和 110 min, 在接触后 24 h 测量, 在不考虑生物廓清作用的情况下也仅留有 6.3% 和 0.11%。可考虑与空气采样结果进行比较, 确定其内照射水平, 或者缩短从接触药物到直接测量之间的时间间隔。

本研究在测量时考虑到表面污染可能会对内照射测量产生严重干扰, 因此首先检测了表面污染情况, 并对存在表面污染的工作人员进行去污, 确认表面污染去除以后方进行测量。区分表面污染和内污染主要依靠其分布位置的不同: 表面污染除了衣物外, 主要分布在裸露皮肤的位置譬如手部、头部; 而内污染主要分布在甲状腺、呼吸道、胃肠道等部位。测量表面污染时只测量手部和头部, 并尽量远离内脏器官。如果一个部位的污染计数率较高且离开该位置以后迅速降低, 则可断定这个部位存在表面污染而非内污染。衣物上的表面污染通过脱去外衣、鞋子的方式去除, 手部、头部的表面污染则通过洗消方式去除。在保证去除表面污染后才可以进行内照射测量, 以免污染仪器。

根据 1999 年国际原子能机构发布的安全导则 RS-G-1.2《摄入放射性核素引起的职业照射评估》^[17], 建议如果每年摄入的放射性核素导致待积有效剂量超过 1 mSv, 就应实施职业性内照射个人监测。本次调查中, 被检出人员平均剂量高于此限值, 即使考虑到检出率的影响, 内照射对年剂量的贡献依旧不可忽视。最高剂量甚至突破了 5 年平均剂量限值。由此可见, 对于 ^{131}I 工作人员的内照射监测工作刻不容缓。内照射可能超过外照射成为甲状腺癌发病的主要原因^[18]。结果显示采用本次方法对放射性 ^{131}I 工作人员的进行内照射监测工作具有一定可行性, 但是对于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 以及 ^{18}F 的监测却因为其半衰期较短并不能达到预期目的。

研究人员下一步将对江苏省内 33 家实施 ^{131}I 核素治疗医院的医护人员内照射情况开展全面调查, 并且计划加入甲状腺计数等其他体外直接测量手段, 与采用空气采样分析法检测结果进行比较, 以得到理想的结果。

参考文献

- [1] SALVATORI M, LUSTER M. Radioiodine therapy dosimetry in benign thyroid disease and differentiated thyroid carcinoma

- [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2010, 37 (4) : 821-828.
- [2] MARIANI G, BRUSELLI L, KUWERT T, et al. A review on the clinical uses of SPECT/CT [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2010, 37 (10) : 1959-1985.
- [3] KEIDAR Z, HAIM N, GURALNIK L, et al. PET/CT using 18F-FDG in suspected lung cancer recurrence : diagnostic value and impact on patient management [J]. J Nucl Med, 2004, 45 (10) : 1640-1646.
- [4] 职业性内照射个人监测规范 : GBZ 129—2016 [S]. 北京 : 中国标准出版社, 2016.
- [5] 张灶钦, 耿继武, 杨宇华, 等. 某医院临床核医学科建设项目放射防护评价分析 [J]. 中国职业医学, 2016, 43 (1) : 88-92.
- [6] 吕志征, 贺强, 王洪伟, 等. 某医院核医学科PET/CT中心放射防护分析 [J]. 中国辐射卫生, 2016, 25 (1) : 76-78.
- [7] 安荣, 代艺. 放射性核素碘 131 治疗甲状腺疾病时对医护人员的损伤及防护 [J]. 护理管理杂志, 2010, 10 (8) : 573-574.
- [8] 梁婧, 张庆召, 林志凯, 等. 碘-131 治疗过程人员受照剂量分析 [J]. 中国职业医学, 2015, 42 (3) : 318-321.
- [9] 王红波. 核医学科工作人员职业性内照射研究 [D]. 北京 : 中国疾病预防控制中心, 2017.
- [10] International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 133 : the ICRP computational framework for internal dose assessment for reference adults : specific absorbed fractions [R]. Ottawa : ICRP, 2016.
- [11] 人体内放射性核素全身计数测量方法 : WS/T584—2017 [S]. 北京 : 中国标准出版社, 2017.
- [12] International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 130 : occupational intakes of radionuclides : part 1 [R]. Ottawa : ICRP, 2015.
- [13] International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 134 : occupational intakes of radionuclides : part 2 [R]. Ottawa : ICRP, 2016.
- [14] International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 137 : occupational intakes of radionuclides : part 3 [R]. Ottawa : ICRP, 2017.
- [15] International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 68 : dose coefficients for intakes of radionuclides by workers [R]. Ottawa : ICRP, 1994.
- [16] 放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范 : GB/T16148—2009 [S]. 北京 : 中国标准出版社, 2009.
- [17] Assessment of occupational exposure due to intakes of radionuclides : IAEA - RS-G-1.2 [S]. Vienna : IAEA, 1999.
- [18] 徐小三, 余宁乐, 张乙眉, 等. 放射工作人员患甲状腺癌的病因概率分析 [J]. 中国工业医学杂志, 2017, 30 (5) : 388-390.

(英文编辑 : 汪源 ; 编辑 : 陈姣, 王晓宇 ; 校对 : 汪源)