

中文引用格式:冯江平,张金帆,陈峰,等.  $^{131}\text{I}$ 核素治疗操作方式修正因子对辐射安全风险的影响[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(8): 231-237.

英文引用格式:FENG Jiangping, ZHANG Jinfan, CHEN Feng, et al. Effect of  $^{131}\text{I}$  nuclide therapy operation mode correction on radiation safety risk[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(8): 231-237.

## $^{131}\text{I}$ 核素治疗操作方式修正因子对辐射安全风险的影响\*

冯江平<sup>1</sup>高级工程师, 张金帆<sup>1</sup>, 陈峰<sup>2</sup>, 林择华<sup>1</sup>, 郭键锋<sup>1</sup>, 刘永<sup>\*\*3</sup>教授  
(1 广东省深圳生态环境监测中心站, 广东 深圳 518049; 2 深圳市生态环境局, 广东 深圳 518113; 3 深圳大学 深圳大学中国核能与安全高等研究院, 广东 深圳 518060)

中图分类号: X945

文献标志码: A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.08.1612

资助项目: 生态环境部核与辐射安全监管项目(环办核设函[2021]239号); 深圳市科技创新委员会基础研究面上项目(JCYJ2021032414081203)。

**【摘要】** 为更好地保障碘-131( $^{131}\text{I}$ )核素治疗工作人员的职业健康与安全, 提高 $^{131}\text{I}$ 核素治疗的使用率, 选择深圳市10家医院的 $^{131}\text{I}$ 核素治疗工作场所为研究对象开展研究。采用碘盒滤膜采样法, 通过低本底高纯锗 $\gamma$ 能谱仪和无源效率刻度软件, 测量核医学工作场所关键区域中 $^{131}\text{I}$ 的活度浓度。估算职业人员待积有效剂量, 评估职业人员辐射安全风险, 进而探讨 $^{131}\text{I}$ 核素治疗操作方式修正因子变更对职业人员辐射安全风险的影响。结果表明: 采用厂家配送和自动分装方式的核医学工作场所中,  $^{131}\text{I}$ (液态)核素治疗操作方式修正因子设定为10时, 带来的辐射安全风险仍远低于标准限值; 建议将 $^{131}\text{I}$ (液态)核素治疗操作方式修正因子按分装方式进行区分, 手动分装设定为1, 厂家配送和自动分装方式设定为10。

**【关键词】**  $^{131}\text{I}$ 核素治疗; 操作方式; 修正因子; 辐射安全风险; 核医学工作场所; 内照射

### Effect of $^{131}\text{I}$ nuclide therapy operation mode correction on radiation safety risk

FENG Jiangping<sup>1</sup>, ZHANG Jinfan<sup>1</sup>, CHEN Feng<sup>2</sup>, LIN Zehua<sup>1</sup>, GUO Jianfeng<sup>1</sup>, LIU Yong<sup>3</sup>

(1 Shenzhen Ecological and Environmental Monitoring Center of Guangdong Province, Shenzhen Guangdong 518049, China; 2 Shenzhen Ecological Environment Bureau, Shenzhen Guangdong 518113, China; 3 Institute for Advanced Study in Nuclear Energy & Safety, Shenzhen University, Shenzhen Guangdong 518060, China)

**Abstract:** To protect the occupational health and safety of  $^{131}\text{I}$  nuclear therapy workers and increase the utilization rate of  $^{131}\text{I}$  nuclear therapy,  $^{131}\text{I}$  nuclear therapy workplaces in 10 hospitals in Shenzhen were selected in this study. The iodine box filter membrane sampling method, combined with a low background high-purity germanium  $\gamma$  energy spectrometer and passive efficiency calibration software, was used to measure the  $^{131}\text{I}$  activity concentration in critical areas of nuclear medicine workplaces. The accumulated effective dose of occupational personnel was estimated, and then the radiation safety risk of occupational

\* 文章编号: 1003-3033(2024)08-0231-07; 收稿日期: 2024-02-26; 修稿日期: 2024-05-26

\*\* 通信作者: 刘永(1971—), 男, 辽宁建昌人, 博士, 教授, 主要从事核与辐射安全管理研究。E-mail: 1875676631@qq.com。

personnel was evaluated. Furthermore, the effect of the correction factor change of  $^{131}\text{I}$  nuclide treatment operation on the radiation safety risk of occupational personnel was analyzed. The results showed that when the correction factor of  $^{131}\text{I}$  (liquid) nuclide treatment operation mode was set to 10, the radiation safety risk was far below the standard limit for manufacturer delivery and automatic packaging in nuclear medicine workplaces. It was recommended that the correction factor of the operation model of  $^{131}\text{I}$  (liquid) radionuclide therapy be distinguished by the packaging system, with manual packaging set to 1 and manufacturer delivery and automatic packaging set to 10.

**Keywords:**  $^{131}\text{I}$  nuclear therapy; operating mode; correction factor; radiation safety risk; nuclear medicine workplace; internal radiation

## 0 引言

近年来,甲状腺癌(Thyroid Carcinoma, TC)的发病率呈现出上升趋势<sup>[1]</sup>,而碘-131( $^{131}\text{I}$ ,是一种碘的放射性同位素,核素符号为I)治疗法,可通过 $^{131}\text{I}$ 发射射线破坏癌变和转移病灶,防止TC复发<sup>[2]</sup>。 $^{131}\text{I}$ 治疗法在TC患者中的应用越来越普遍,一定程度上提高了TC患者的愈后生活质量,但随之带来的放射性内照射问题亦开始受到医患双方的重视<sup>[3]</sup>。由于 $^{131}\text{I}$ 挥发性强,核医学工作人员治疗操作期间,易通过呼吸道或皮肤渗透途径摄入,从而造成内照射<sup>[4-5]</sup>。内照射无法通过一般的时间、距离和屏蔽等方法控制,是较危险的照射类型。因此,开展 $^{131}\text{I}$ 对职业人员辐射安全风险研究具有重要意义。

国内外关于 $^{131}\text{I}$ 对职业人员内照射的研究越来越重视<sup>[6-9]</sup>,其中,国外BRUDECKI等<sup>[6]</sup>对波兰某核医疗医院核医务人员进行了甲状腺 $^{131}\text{I}$ 活性测定及内照射剂量评估;MOLLAH等<sup>[7]</sup>利用国际原子能机构的辐射剂量标准来评估测定核医学实践中的内部辐射剂量。国内龙旋等<sup>[8]</sup>采用体外直接测量法,评估了广东省8家医院的61名核素治疗核医学工作人员的内照射水平,结果表明:虽然8家医院的工作人员内照射水平符合年有效剂量限值,但仍需重视内照射防护。王洁等<sup>[9]</sup>监测和估算了甘肃省3家甲级医院的20名从事核医学工作的医务人员的甲状腺中 $^{131}\text{I}$ 内照射剂量,结果显示,所有人员年待积有效剂量均未超过必须进行内照射监测的1 mSv限值,但也较为接近,还需密切关注。深圳市作为改革开放先行示范区,仅2021年,就有10个新增申报的核医学相关项目<sup>[10]</sup>,而 $^{131}\text{I}$ 核素治疗就是其中的重要组成部分之一。

鉴于此,笔者选择深圳市10家医院的 $^{131}\text{I}$ 核素治疗工作场所为研究对象,采用 $\gamma$ 能谱仪无源效率刻度方法,调查核医学场所中 $^{131}\text{I}$ 的活度浓度,评估

工作人员的辐射安全风险,以期为 $^{131}\text{I}$ 核素治疗的发展和安全管理提出建议。

## 1 $^{131}\text{I}$ 核素治疗使用情况

根据调研报告<sup>[10]</sup>,截至2021年6月30日,深圳市已许可使用 $^{131}\text{I}$ 核素的非密封放射性物质工作场所所有10家,现场调查情况见表1。从表1可以看出:①从 $^{131}\text{I}$ 日均实际操作量来看,日均操作量不大,日工作时间一般在2~4 h。②大部分由专业核素制药厂家分装好后,直接按人份送至医院,大大减少了医护人员的操作时间。

表1 深圳市使用 $^{131}\text{I}$ 核医学工作场所汇总

Table 1 Summary of  $^{131}\text{I}$  nuclear medicine workplaces in Shenzhen

核医学工作场所	日均操作量/Bq	操作方式	操作人数	年操作时间/h
A 医院	$7.40 \times 10^8$	厂家分装,确认药量后给药	1	100
B 医院	$2.59 \times 10^{10}$	厂家分装,确认药量后给药	5	200
C 医院	$2.59 \times 10^{10}$	自动分装、给药	4	200
D 医院	$7.40 \times 10^8$	厂家分装,确认药量后给药	2	100
E 医院	$7.40 \times 10^8$	厂家分装,确认药量后给药	2	100
F 医院	$1.85 \times 10^9$	厂家分装,确认药量后给药	6	100
G 医院	$7.40 \times 10^8$	厂家分装,确认药量后给药	3	100
H 医院	$5.55 \times 10^8$	厂家分装,确认药量后给药	2	100
I 医院	$7.4 \times 10^8$	厂家分装,确认药量后给药	3	100
J 医院	$1.85 \times 10^9$	厂家分装,确认药量后给药	3	100

## 2 辐射安全风险调查方法

利用高纯锗 (High Purity Germanium, HPGe) 探测器组成的低本底 HPGe  $\gamma$  能谱仪开展辐射安全风险调查工作,测定核素衰变发射的具有不同能量特征的  $\gamma$  射线。以《空气中碘-131 的取样与测定》<sup>[11]</sup> 和《环境空气 气溶胶中  $\gamma$  放射性核素的测定 滤膜压片/ $\gamma$  能谱法》<sup>[12]</sup> 为依据,利用低本底 HPGe $\gamma$  能谱仪,测量 $^{131}\text{I}$  衰变放出 364.5 keV 的  $\gamma$  射线能量峰。为了消除碘盒中碘分布不均匀产生的测量误差,一般需测量碘盒正反面各 1 次后取平均值。用无源效率刻度软件进行仪器效率刻度。最终结果为通过时间修正到取样时刻时 $^{131}\text{I}$  的活度浓度。

使用携式碘/气溶胶采样器进行采样,分析设备使用低本底 HPGe $\gamma$  能谱仪,检出限为 0.002 Bq/m<sup>3</sup>。

1) 采样点。在职业人员操作、分装和注射的位置以及人员站立地表面向上 1.5 m 处的呼吸带,1 个位置选择 1 个采样点;同时,选择候诊区或走廊等预计活度浓度高的位置,或者工作场所外预计活度浓度低的位置作为对照点。

2) 采样时段。在工作人员准备操作前,架设好采样设备,设置好采样滤膜/试剂,在操作过程中采集气溶胶,采样时间包含当天整个操作过程,操作结束后,适当延长 1 h 左右采样时间。

3) 采样量。为保证采集到足够多的放射性物质,同时满足  $\gamma$  谱仪的最低探测下限及统计学要求的数值,采样设备设置的采样流量均按最大流量进行采样,以保证抽取足够体积的空气,实际采样流量为 120 L/min,采样体积为 14.4~43.2 m<sup>3</sup>。气溶胶测量结果详见表 2。

表 2 气溶胶中 $^{131}\text{I}$  检测结果

Table 2 Measurements of  $^{131}\text{I}$  in aerosols

工作场所	检测点位	检测结果/ (Bq · m <sup>-3</sup> )	工作场所	检测点位	检测结果/ (Bq · m <sup>-3</sup> )
A 医院	给药室	0.32	F 医院	给药室	38.1
	给药室	0.01	G 医院	给药室	43.50
	候诊走廊	0.01		注射室	未检出
B 医院	碘质控室	0.87	H 医院	投药注射室	未检出
	碘病房走廊	9.62		投药注射室	0.378
C 医院	自动分装柜旁	61.81	I 医院	二楼准备室	未检出

续表 2

工作场所	检测点位	检测结果/ (Bq · m <sup>-3</sup> )	工作场所	检测点位	检测结果/ (Bq · m <sup>-3</sup> )
D 医院	分装柜旁	未检出	J 医院	注射窗	未检出
E 医院	注射室	未检出		服药窗	20.30
	SPECT 机房	未检出			

注:单光子发射计算机断层扫描 (Single Photon Emission Computed Tomography, SPTEC)

## 3 辐射安全风险影响分析

职业人员待积有效剂量反映了职业人员在 $^{131}\text{I}$  核素治疗操作过程当中收到的辐射影响程度,是评价辐射安全风险的重要指标。依据《职业性内照射个人监测规范》(GBZ 129—2016)<sup>[13]</sup> 和《核医学放射防护要求》<sup>[14]</sup> 的内照射待积有效剂量估算方法,从事非密封放射性核素操作的工作人员摄入放射性核素所致待积有效剂量采用下式进行估算:

$$E(\tau) = I_j e_j(\tau) \quad (1)$$

式中: $E(\tau)$  为待积有效剂量, Sv;  $I_j$  为  $j$  类核素通过吸入途径摄入的摄入量, Bq;  $e_j(\tau)$  为  $j$  类核素通过吸入途径引起的待积有效剂量系数(单位摄入量的待积有效剂量), Sv/Bq, 取值见 GBZ129—2016<sup>[13]</sup> 附录 E。

当空气样品个人监测的测量结果是监测周期内的累积放射性活度时,则可直接视为此时的摄入量。若监测结果是核素空气活度浓度  $C_j$ , 核素  $j$  的摄入量  $I_j$  可用下式计算:

$$I_j = C_j B T \quad (2)$$

式中: $C_j$  为监测的  $j$  类放射性核素的活度浓度, Bq/m<sup>3</sup>;  $B$  为人的呼吸率, m<sup>3</sup>/h, 取 0.83 m<sup>3</sup>/h;  $T$  为 1 年内在在工作场所停留的总有效时间, h。

根据气溶胶的测量结果及式(2),对气溶胶监测结果高于检出限,且有职业人员居留的操作、分装和注射的位置进行待积有效剂量估算。医疗应用单位职业人员人均待积有效剂量估算结果见表 3。

从估算结果可以看出,职业人员待积有效剂量估算结果整体不高。

1) 6 家医院均为供药厂家供药分装好的药物,质控确认药量后给药,年操作时间为 100 或 200 h; 1 家医院为院内自动分装设备进行分装,年操作时间为 100 h。所有调查医院 $^{131}\text{I}$  核素治疗导致的职业人员人均待积有效剂量为  $4.78 \times 10^{-4} \sim 5.13 \times 10^{-2}$  mSv/a, 均远低于《电离辐射防护与辐射源安全标准》

表3 职业人员<sup>131</sup>I内照射人均待积有效剂量估算结果  
Table 3 Evaluations of average accumulated effective dose of <sup>131</sup>I internal exposure for occupational personnel

工作场所	检测结果/ (Bq·m <sup>-3</sup> )	计算参数			人均待积有效剂量/ (mSv·a <sup>-1</sup> )
		年操作时间/h	人呼吸率/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	剂量系数/ (Sv·Bq <sup>-1</sup> )	
A 医院	0.32	100	0.83	2×10 <sup>-8</sup>	5.31×10 <sup>-4</sup>
B 医院	0.87	200	0.83	2×10 <sup>-8</sup>	4.78×10 <sup>-4</sup>
C 医院	61.81	200	0.83	2×10 <sup>-8</sup>	5.13×10 <sup>-2</sup>
F 医院	38.1	100	0.83	2×10 <sup>-8</sup>	1×10 <sup>-2</sup>
G 医院	43.5	100	0.83	2×10 <sup>-8</sup>	1.4×10 <sup>-2</sup>
H 医院	0.378	100	0.83	2×10 <sup>-8</sup>	3.14×10 <sup>-4</sup>
J 医院	20.3	100	0.83	2×10 <sup>-8</sup>	1.12×10 <sup>-2</sup>

(GB 18871—2002)<sup>[15]</sup>的标准限值(1 mSv/a)。

2) C 医院院内使用自动分装设备进行自动分装,自动分装柜旁<sup>131</sup>I气溶胶活度浓度检测结果最高(61.81 Bq/m<sup>3</sup>)。这是由于碘源液在自动分装过程中长时间处于暴露状态,导致在分装柜旁采集到的气溶胶浓度较大。按分装柜旁采集的气溶胶活度浓度保守估算出来的集体待积有效剂量为0.205 mSv/a,人均待积有效剂量为0.05 mSv/a。但是在实际的操作过程中,工作人员把药放进自动分装柜后,不在分装柜旁停留,而是在分装柜对面的值班室进行远程操作,真实的人均待积有效剂量远低于估算值。

#### 4 <sup>131</sup>I 操作方式修正因子探讨

核医学工作场所属于非密封源工作场所,GB 18871—2002<sup>[15]</sup>按放射性核素日等效最大操作量的大小对非密封源工作场所进行分级(甲: >4×10<sup>9</sup>Bq; 乙: 2×10<sup>7</sup>~4×10<sup>9</sup>Bq; 丙: 豁免活度值以上~2×10<sup>7</sup>Bq)。放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量(Bq)与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。甲级管理要求最高,乙级次之,丙级最低。由此可以看出,修正因子越大,其对应的实际日操作量越低,在相同的日等效最大操作量前提下,可用的放射性核素的量也越多。对于使用<sup>131</sup>I作为核素治疗的工作场所,我国核医学的环境标准HJ 1188—2021《核医学辐射防护与安全要求》<sup>[16]</sup>将统一使用<sup>131</sup>I(液态)核素治疗的操作方式界定为简单操作,<sup>131</sup>I(液态)核素治疗操作方式修正因子(简称修正因子)设定为1。

根据深圳市典型核医学工作场所的日等效最大操作量统计情况,可以发现<sup>131</sup>I在核医学的日等效

最大操作量比重最高可达到99.80%,平均达到97.90%,见表4。其主要原因是<sup>131</sup>I相对其他使用核素的操作修正因子大1个数量级,而<sup>131</sup>I在核医学中的甲状腺治疗应用较为普遍。据不完全统计,仅2022年,深圳市内申报安装自动分装设备的核医学<sup>131</sup>I项目就超过10个。如果核医学工作场所只是简单的提高<sup>131</sup>I实际最大操作量,将随之提高日等效最大操作量,从而导致整个核医学工作场所的分级由乙级提高为甲级,管理要求将会大幅度增加,限制了核医学的发展。在保证所有核素造成的日等效最大操作量不变的前提下,如果提高<sup>131</sup>I的操作方式修正因子,能够降低<sup>131</sup>I造成的实际最大操作量,从而增加核医学其他核素的实际最大操作量,将有利于促进核医学的发展,满足民生需求。

表4 深圳市核医学工作场所<sup>131</sup>I使用情况

Table 4 <sup>131</sup>I usage in nuclear medicine workplaces in Shenzhen

工作场所	<sup>131</sup> I日等效最大操作量/Bq	工作场所日等效最大操作量/Bq	<sup>131</sup> I占比/%
A 医院	7.40×10 <sup>7</sup>	7.77×10 <sup>7</sup>	95.24
B 医院	2.59×10 <sup>9</sup>	2.60×10 <sup>9</sup>	99.62
C 医院	1.85×10 <sup>9</sup>	1.85×10 <sup>9</sup>	99.80
D 医院	7.40×10 <sup>7</sup>	9.99×10 <sup>7</sup>	74.07
E 医院	7.40×10 <sup>7</sup>	7.59×10 <sup>7</sup>	97.50
F 医院	1.85×10 <sup>8</sup>	1.99×10 <sup>8</sup>	92.96
G 医院	7.40×10 <sup>7</sup>	8.88×10 <sup>7</sup>	83.33
H 医院	5.55×10 <sup>7</sup>	5.99×10 <sup>7</sup>	92.65
I 医院	7.40×10 <sup>7</sup>	1.04×10 <sup>8</sup>	71.15
J 医院	1.85×10 <sup>8</sup>	1.89×10 <sup>8</sup>	97.88
合计	5.24×10 <sup>9</sup>	5.35×10 <sup>9</sup>	97.90

#### 5 修正因子对辐射安全风险的影响

##### 5.1 厂家配送与自动分装的辐射安全风险

由表2和表3可知:<sup>131</sup>I活度浓度范围为0.002~61.81 Bq/m<sup>3</sup>,人均待积有效剂量为3.14×10<sup>-4</sup>~5.13×10<sup>-2</sup> mSv/a。监测结果与林宝等<sup>[17]</sup>监测结果基本一致(<sup>131</sup>I活度浓度范围为0.087~570 Bq/m<sup>3</sup>,人均待积有效剂量为2×10<sup>-3</sup>~10 mSv/a)。

国内外文献报道,核医学操作过程中,工作人员直接接触放射性核素,相比于普通放射工作人员,核医学工作人员受照剂量更高<sup>[18-21]</sup>。例如:牛丽梅等<sup>[21]</sup>调查了4家三甲医院的85名核医学科工作人员内照射情况,结果表明:内照射剂量估算结果≥5 mSv/a的人员仅有3名,且均为长期从事放射性

核素分装及给药的工作人员。由此可见:核医学工作人员的受照剂量主要问题来源于分装及给药工作。林宝等<sup>[16]</sup>也指出检测结果的差异性与分装方式、操作频率和工作量均有关系,但是并未对分装方式带来的差异性进行详细的比较。

随着自动化精密机械技术的发展,核医学放射性药物的分装方式由传统的手动分装发展成了自动分装方式。相较于手动分装方式,自动分装方式不需要进行人为的操作。人员实际在该区域居留时间非常短,大大减少了人员接触放射性药物的机会,同时也减少了分装对人员带来的危害。此外,从自动分装的机械设计和人员操作方式方面考虑,只要自动分装的设计和辐射防护设计符合辐射安全防护原则,医院内采用自动分装方式对工作人员和环境的影响基本上等同于厂家分装定量配送方式。

文中首次对分装方式带来的辐射安全风险进行分析研究,结果表明厂家配送和自动分装方式对场所的环境影响低,所带来的人均待积有效剂量远低于 GB 18871—2002<sup>[15]</sup> 标准(5 mSv/a) 要求。厂家配送方式和自动分装应与手动分装区别对待,其操作修正因子也应相应有所区别。

## 5.2 提高修正因子对辐射安全风险的影响

以 $^{131}\text{I}$ 日等效操作量最大的 B 医院( $2.59 \times 10^9 \text{Bq}$ )为例,其 $^{131}\text{I}$ 日等效操作量占工作场所日等效最大操作量( $2.60 \times 10^9 \text{Bq}$ )的 99.62%,占乙级工作场所最大日等效操作量( $4 \times 10^9 \text{Bq}$ )的 64.75%。

以人均待积有效剂量最大的 C 医院( $5.13 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ )为例,其 $^{131}\text{I}$ 日等效操作量占工作场所日等效最大操作量( $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ )的 99.8%;按保守估算,当增大 10 倍的 $^{131}\text{I}$ 日等效操作量,其人均待积有效剂量将随之增大 10 倍,达到  $5.13 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ ;但是即使如此,仍然远低于标准要求。

换言之,如果将采用厂家配送和自动分装方式的 $^{131}\text{I}$ (液态)操作方式修正因子增加 10 倍,核医学工作场所可提高 10 倍的 $^{131}\text{I}$ 日等效操作量,其导致的人均待积有效剂量仍远低于标准要求,满足辐射安全的要求。其次,此操作方式修正因子的增加,可以有效的放开核医学其他核素的使用空间,促进核

医学的快速有效发展。

综上所述,建议将 $^{131}\text{I}$ (液态)操作方式修正因子按厂家配送、自动分装和手动分装进行区分,将厂家配送和自动分装的 $^{131}\text{I}$ (液态)操作方式修正因子定义为 10,将手动分装的 $^{131}\text{I}$ (液态)操作方式修正因子定义为 1。 $^{131}\text{I}$ 操作方式修正因子见表 5。

表 5  $^{131}\text{I}$  操作方式修正因子

Table 5  $^{131}\text{I}$  operation mode correction factor

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
核素治疗	手动分装 $^{131}\text{I}$ (液体)	简单操作	1
	自动分装、厂家配送 $^{131}\text{I}$ (液体)	很简单操作	10

## 6 结 论

1) 采用厂家分装和自动分装方式的医院,其 $^{131}\text{I}$ 核素治疗导致的职业人员人均待积有效剂量为  $4.78 \times 10^{-4} \sim 5.13 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ,均远低于 GB 18871—2002<sup>[15]</sup> 的标准限值(1 mSv/a)。

2) 如果将采用厂家配送和自动分装方式的 $^{131}\text{I}$ (液态)操作方式修正因子增加 10 倍,核医学工作场所可提高 10 倍的 $^{131}\text{I}$ 日等效操作量,其导致的人均待积有效剂量仍远低于标准要求。建议将 $^{131}\text{I}$ (液态)操作方式修正因子按厂家配送、自动分装和手动分装进行区分,将厂家配送和自动分装的 $^{131}\text{I}$ (液态)操作方式修正因子设定为 10,将手动分装的 $^{131}\text{I}$ (液态)操作方式修正因子设定为 1。

3) 文中仅监测调查对象 1 次,不能充分反映核医学科不同核素使用量情况下的内照射结果。使用 1 次监测的结果来估算全年的内照射剂量,可能存在一定的误差。因此,下一步将根据核医学科放射性核素使用情况调整监测周期,增加监测频次,以便能客观评价其年有效剂量。

4) 文中只重点讨论了 $^{131}\text{I}$ 的修正因子,未深入研究核医学其他核素的使用情况。随着核医学设备及防护装置的快速发展,放射性药物对区域的辐射水平影响将逐步减少,下一步将深入研究其他核素的操作方式修正因子。

## 参 考 文 献

[1] 袁宏钧,仲妙春,张静霞. 碘- $^{131}\text{I}$  配合选择性颈淋巴结清除术对甲状腺癌的疗效及唾液腺功能的影响[J]. 中国普通外科杂志,2015,24(5):643-647.

- YUAN Hongjun, ZHONG Miaoqun, ZHANG Jingxia. Concomitant  $^{131}\text{I}$  therapy following selective neck dissection for thyroid cancer efficacy and influence on salivary gland function[J]. Chinese Journal of General Surgery, 2015, 24(5): 643-647.
- [2] 祝玉祥, 章佳新, 蔡凤林, 等. 全腔镜手术与传统手术治疗早期分化型甲状腺癌的临床比较[J]. 中国普通外科杂志, 2014, 23(5): 605-608.
- ZHU Yuxiang, ZHANG Jiabin, CAI Fenglin, et al. Totally endoscopic thyroidectomy versus traditional operation for early-stage differentiated thyroid carcinoma[J]. Chinese Journal of General Surgery, 2014, 23(5): 605-608.
- [3] 池晓华, 刘峰, 李贵平, 等. 距离在甲状腺癌患者 $^{131}\text{I}$ 治疗中的屏蔽作用[J]. 南方医科大学学报, 2014, 34(2): 286-288.
- CHI Xiaohua, LIU Feng, LI Guiping, et al. Shielding effect of distance in  $^{131}\text{I}$  therapy for differentiated thyroid cancer[J]. Journal of Southern Medical University, 2014, 34(2): 286-288.
- [4] 王红波, 孙全富, 郭跃信. 核医学工作人员甲状腺中 $^{131}\text{I}$ 的测量及内照射剂量估算[J]. 中国工业医学杂志, 2022, 35(1): 12-15.
- WANG Hongbo, SUN Quanfu, GUO Yuexin. Measurement of  $^{131}\text{I}$  in thyroid of nuclear medicine workers and estimation of internal dose[J]. Chinese Journal of Integrative Medicine, 2022, 35(1): 12-15.
- [5] FERRIS T, CARROLL L, JENNER S, et al. Use of radioiodine in nuclear medicine: a brief overview[J]. Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals, 2021, 64(3): 92-108.
- [6] BRUDECKI K, KOWALSKA A, ZAGRODZKI P, et al. Measurement of  $^{131}\text{I}$  activity in thyroid of nuclear medical staff and internal dose assessment in a Polish nuclear medical hospital[J]. Radiation and Environmental Biophysics, 2017, 56(1): 19-26.
- [7] MOLLAH S A, RAHMAN K, HOSSAIN M. Use of IAEA radiation dose criteria to assess the need for internal radiation dosimetry in nuclear medicine practices[J]. Bangladesh Journal of Nuclear Medicine, 2018, 20(1): 51-55.
- [8] 龙旋, 谭展, 黄伟旭, 等. 广东省 8 家医院核医学工作人员碘-131 内照射水平分析[J]. 中国职业医学, 2022, 49(4): 454-457.
- LONG Xuan, TAN Zhan, HUANG Weixu, et al. Analysis of  $^{131}\text{I}$  radiation internal exposure in nuclear medicine staff of eight hospitals in Guangdong province[J]. China Occupational Medicine, 2022, 49(4): 454-457.
- [9] 王洁, 张涵宇, 邬家龙, 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.
- WANG Jie, ZHANG Hanyu, WU Jialong, et al. Analysis of radiation internal exposure in nuclear medicine staff of three hospitals in Gansu province[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2020, 29(4): 357-361.
- [10] 张金帆, 冯江平, 时劲松, 等. 非密封放射性物质工作场所职业人员内照射水平调查研究报告[R]. 广东省深圳生态环境监测中心站, 2021.
- [11] GB/T 14584—1993, 空气中碘-131 的取样与测定[S].
- GB/T 14584—1993, Sampling and determination of  $^{131}\text{I}$  in air[S].
- [12] HJ 1149—2020, 环境空气 气溶胶中  $\gamma$  放射性核素的测定 滤膜压片/ $\gamma$  能谱法[S].
- HJ 1149—2020, Ambient air: determination of gamma-ray emitting radionuclides in aerosol—filter compression /gamma spectrometry[S].
- [13] GBZ129—2016, 职业性内照射个人监测规范[S].
- GBZ129—2016, Specifications of individual monitoring for occupational internal exposure[S].
- [14] GBZ120—2020, 核医学放射防护要求[S].
- GBZ120—2020, Requirements for radiological protection in nuclear medicine[S].
- [15] GB 18871—2002, 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S].
- GB 18871—2002, Basic standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources[S].
- [16] HJ1188—2021, 核医学辐射防护与安全要求[S].
- HJ1188—2021, Radiation protection and safety requirements for nuclear medicine[S].
- [17] 林宝, 孙桂湘, 张超宇, 等. 核医学场所空气中 $^{131}\text{I}$ 浓度监测及工作人员内照射剂量评价探讨[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2023, 43(9): 717-723.
- LIN Bao, SUN Guixiang, ZHANG Chaoyu, et al. Evaluation of internal doses to workers and monitoring of  $^{131}\text{I}$  concentration

in air in nuclear medicine workplaces [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2023, 43 (9): 717-723.

[18] VILLOING D, BORREGO D, PRESTON DL, et al. Trends in occupational radiation doses for U. S. radiologic technologists performing general radiologic and nuclear medicine procedures, 1980-2015 [J]. Radiology, 2021, 300(3): 605-612.

[19] 范胜男, 王拓, 李梦雪, 等. 2017 年我国放射工作人员职业性外照射个人剂量水平与分析 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2021, 41(2): 85-91.

FAN Shengnan, WANG Tuo, LI Mengxue, et al. Analysis of individual doses to radiation workers from occupational external exposure in China in 2017 [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2021, 41(2): 85-91.

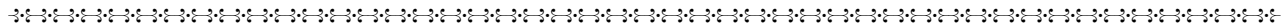
[20] 王芳, 杨海燕, 王洁, 等. 甘肃省核医学工作人员职业性外照射个人监测结果分析 [J]. 工业卫生与职业病, 2021, 47(4): 341-343.

WANG Fang, YANG Haiyan, WANG Jie, et al. Analysis on personal monitoring results of occupational external irradiation of nuclear medicine workers in gansu province [J]. Industrial Health and Occupational Diseases, 2021, 47(4): 341-343.

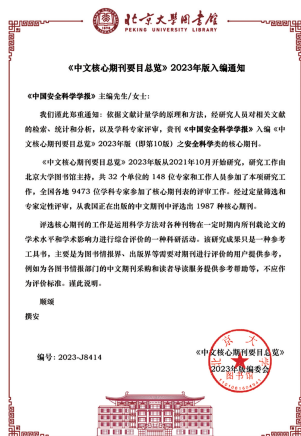
[21] 牛丽梅, 刘刚, 张涵宇, 等. 2019—2021 年核医学工作人员内照射剂量监测结果分析 [J]. 工业卫生与职业病, 2023, 49(3): 272-275.

NIU Limei, LIU Gang, ZHANG Hanyu, et al. Analysis of internal radiation dose monitoring results of nuclear medicine workers in 2019-2021 [J]. Industrial Health and Occupational Diseases, 2023, 49(3): 272-275.

作者简介: 冯江平 (1986—), 男, 广东丰顺人, 硕士, 高级工程师, 主要从事放射性安全监测及管理工作。  
E-mail: 314003781@qq.com。



## 《中国安全科学学报》再次入编“北大中文核心期刊”



依据文献计量学的原理和方法, 经研究人员对相关文献的检索、统计和分析, 以及学科专家评审, 《中国安全科学学报》入编《中文核心期刊要目总览》2023 年版(即第 10 版)之“安全科学”类的核心期刊。