

DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2022.02.012

· 论 著 ·

碘 [^{131}I] 化钠口服溶液治疗分化型甲状腺癌 场所空气中 ^{131}I 浓度检测

刘明^{1,2}, 耿建华², 郑容², 梁颖^{1,2}, 李高峰³

1. 国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院深圳医院核医学科, 广东深圳 518116; 2. 国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院核医学科, 北京 100021; 3. 北京格物时代科技发展有限公司, 北京 102600

摘要: **目的** 研究核医学科碘 [^{131}I] 化钠口服溶液治疗分化型甲状腺癌(DTC)患者时, 治疗场所空气中 ^{131}I 放射性浓度, 评估工作人员内照射剂量。**方法** 选取某医院核医学科 DTC 患者 ^{131}I 住院治疗的工作场所。分别对 ^{131}I 服药区和 ^{131}I 治疗病房空气进行气体采样, 通过低本底伽玛谱仪探测样本, 经计算空气中 ^{131}I 的活度浓度, 估算工作人员受到的内照射剂量。**结果** 在 ^{131}I 服药区, 服药 3 h 内活度浓度为 3~187 Bq/m³。患者服药期间及患者服药后 3 h, 在服药处停留 5~30 min, 内照射剂量分别为 0.08~0.50 μSv 及 0.00~0.04 μSv 。患者服药当天病房空气中 ^{131}I 的活度浓度最高, 可达 3 091 Bq/m³; 患者出院后, 病房活度浓度逐渐降低, 在 48 h 内浓度为 10~242 Bq/m³。出院后 48 h 内 在病房停留 5~30 min, 内照射剂量为 0.01~14.11 μSv 。**结论** ^{131}I 治疗 DTC 患者服药期间空气中 ^{131}I 活度浓度较高, 建议采用远程给药或观察窗给药。患者住院期间, 病房内 ^{131}I 活度浓度最高, 建议除医护人员外, 禁止其他人员进入病房。患者出院后, 尽量延后进入病房的时间, 以减少内照射剂量。

关键词: 核医学科; ^{131}I 治疗; 住院; 气溶胶; 活度浓度; 内照射

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2022)02-0197-07

Radioactive concentration of ^{131}I in the air of treatment workplaces for differentiated thyroid cancer with sodium iodide [^{131}I] oral solution

LIU Ming^{1,2}, GENG Jianhua², ZHENG Rong², LIANG Ying^{1,2}, LI Gaofeng³

1. National Cancer center/National Clinical Research Center for Cancer/ Cancer Hospital & Shenzhen Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Shenzhen 518116 China; 2. National Cancer center/National Clinical Research Center for Cancer/ Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100021 China; 3. Beijing Explore Times Technology Co. Ltd, Beijing 102600 China

Abstract: **Objective** To study the radioactive concentration of ^{131}I in the air of workplaces where sodium iodide [^{131}I] oral solution was administrated for patients with differentiated thyroid cancer (DTC) in the Department of Nuclear Medicine, and to estimate the internal radiation dose to the staff. **Methods** Workplaces of radioiodine ^{131}I therapy for DTC patients in the Department of Nuclear Medicine of a hospital were investigated. Air samples in ^{131}I administration areas and treatment wards were collected respectively and were measured by low-background gamma-ray spectrometry to calculate the activity concentration of ^{131}I in the air and to further estimate the internal radiation dose to staffs. **Results** The activity concentration in the ^{131}I administration area within the first 3 h of administration was 3~187 Bq/m³. During administration and within the first 3 h of administration, the staff exposed in the administration area for 5~30 min received an internal radiation dose of 0.08~0.50 μSv and 0.00~0.04 μSv , respectively. The highest activity concentration of ^{131}I in the air of the ward was measured on the day of administration, reaching 3 091 Bq/m³. After patients were discharged, the activity concentration in the ward gradually decreased to 10~242 Bq/m³ within 48 h. Within 48 h after patients were discharged, the staff exposed in the ward for 5~30 min received an internal radiation dose of 0.01~14.11 μSv . **Conclusion** A high activity concentration of ^{131}I in the air was recorded during administration for DTC patients in radioiodine ^{131}I therapy, and thus we recommend remote instructed administration or administration through a shielded window. We also recommend that non-treatment related personnel except medical staffs should not enter the ward during patients' hospitalization at which the activity concentration

of ^{131}I in the ward was the highest. After patients were discharged, a delayed entry into the ward is recommended to reduce the internal radiation dose.

Keywords: Department of nuclear medicine; Radioiodine ^{131}I therapy; Hospitalization; Aerosol; Activity concentration; Internal radiation

Corresponding author: GENG Jianhua, E-mail: gengjean@163.com

甲状腺癌是临床上常见的恶性肿瘤,其中大部分为分化型甲状腺癌(differentiated thyroid cancer, DTC)。我国甲状腺癌发病率为 10.16/100 000^[1],在所有癌症发病率中位列第 8,发病率呈逐渐上升趋势^[1-2]。碘-131(^{131}I)广泛应用于核医学诊疗中,不仅应用于甲状腺疾病治疗,也用于临床检查甲状腺功能和核素显像诊断^[3-4]。国内外关于 DTC 的治疗指南中^[5-7]也将术后行 ^{131}I 治疗列于其中。由于 ^{131}I 治疗使用剂量较大(80~200 mCi)^[8-9],患者在服用碘 [^{131}I] 化钠口服溶液过程中和服用碘 [^{131}I] 化钠口服溶液住院中,放射性 ^{131}I 会以气体的形式挥发在空气中污染核医学科场所空气。有研究检测到核医学相关工作人员会吸入放射性 ^{131}I 到体内^[10]。空气气溶胶监测可以像尿液监测一样有效地进行 ^{131}I 内照射评估^[11]。为分析 ^{131}I 治疗 DTC 患者中核医学科治疗场所空气中 ^{131}I 气溶胶活度浓度和变化规律,前期综述了核医学治疗 DTC 场所空气中 ^{131}I 浓度的相关研究^[12],本研究对核医学科进行 ^{131}I 治疗的 DTC 患者的服药区及住院场所进行空气采样,检测该场所空气中 ^{131}I 浓度水平并对其危害性进行评价。

1 材料与方法

1.1 采样仪器 采用便携式碘采样器(型号为 GW1091,北京格物时代科技发展有限公司生产)对场所空气进行采样。采样盒为标准 TEDA 碘盒(TC-12)。使用低本底伽玛谱仪(型号为 GW1051,北京格物时代科技发展有限公司生产)对采集的碘盒进行测量,探测下限 1 Bq/m³。所有的检测设备和检测耗材均经中国计量科学研究院年检合格。

1.2 采样场所 本实验选取某肿瘤医院核医学科工作场所包括服药区、碘病房 2 个区域,分别对服药期间和服药后的服药区、住院期间和出院后的病房的空气进行气体采样。接受 ^{131}I 治疗的患者在服药前,核医学科医生和护士会对患者进行严格的服药方法宣教。服药时,医生和护士同时在护士站通过视频监控和语音通话的辅助设备再次确认和指引患者服药,分装好的 ^{131}I 口服液放置在铅罐中,放在服药区的储药

厨台面上,储药厨配有通风系统,铅罐外贴有药物活度标签以确保服药剂量的准确性。服完药后,患者将药瓶连同吸管一起放入旁边的防护专用废物桶内,进入病房。进入病房区有一个门厅,3 间病房 6 张病床。患者住院期间,医生和护士通过视频监控和语音通话与住院患者交流沟通直至患者满足出院条件后出院。无特殊情况,禁止任何人进入 ^{131}I 治疗病房,病房配备进排风系统。为了降低工作人员的受照,患者离开病房后,不进行病房清理,直至下一批患者入住前再清理病房。

1.3 采样方法

1.3.1 采样位置 根据工作场所的布局设置采样点。给药区:采样器放置在距离服药柜 1.6 m 处; ^{131}I 治疗病房:采样器放置在病房中 2 个病床间的过道处。采样器吸气流速均设置为 30 L/m³,吸气点高度垂直地面 1.25 m。

1.3.2 采样步骤

1.3.2.1 服药区采样 分别在患者服药时及所有患者服药结束后进行空气采样,在第一位患者准备服药时开启采样设备,直到最后一位患者服药结束离开服药区时结束采样。在最后一位患者服药结束离开服药区后开始计时,分别在 5 min 和 15 min 2 个时间点再次采样(更换新的标准碘盒 TC-12),设置采样时间 150 min,采样流速 30 L/min。患者服药同时共测 3 批患者(3 个样品);患者服药后共测 4 批患者(服药 5 min 和 15 min 时,分别 2 个样品)。采样过程中服药柜的通风柜在抽风状态。

1.3.2.2 病房采样 在接受 ^{131}I 治疗 DTC 患者服药后均在病房正常休息时,对病区内公共区域(3 病房门厅)采样 60 min;患者达到出院标准(体内活度小于 400 MBq 或 1 m 处的剂量率低于 25 $\mu\text{Sv/h}$)^[13-14]后出院,病房所有患者出院后分别在不同时间点(5 min、1.5 h、3 h、4.5 h、6 h、7.5 h、9 h、24 h、48 h)进行多次病房环境空气采样(表 2),采样设备固定在一个房间里 2 张病床之间(图 1),采样时间 90~100 min,采样流速 30 L/min。各时间点采样时,病房没有进行保洁及放射废物的清理。采样过程中病房的送风及

排风均在工作状态。

1.3.3 测量碘盒方法 利用低本底伽玛谱仪测量碘盒样品内富集的 ^{131}I 活度。低本底伽玛谱仪主要包括:多道分析器(含低压电源,高压电源),低本底铅室,低钾三英寸 NaI(Tl)探头等。系统本底小于 10 cps,能量分辨率优于 7%(^{137}Cs , 662KeV)。采集到 ^{131}I 能谱通过卡 $\pm 10\%$ 窗宽的 ^{131}I 的 364 KeV 全能峰,利用全能峰内的计数计算样品活度,可以进一步降低本底的干扰及其他核素干扰,进一步提高测量下限,主要测量步骤:1)选取一个标准样品(1#, 病人出院后的病房采样),送中国原子能科学院国防科技工业电离辐射一级计量站测量,给出标准样品内 ^{131}I 的活度。利用这个标准样品,刻度好使用的低本底伽玛谱仪对碘盒内富集的 ^{131}I 的探测效率;2)对于每次收集的碘盒样品,放到铅室内,确保和标准样品的采集条件一致;3)采集样品数据前及采集样品数据后,按照同样的采集条件采集本底能谱数据;4)根据 ^{131}I 的半衰期及采样的中间时刻,测量的中间时刻,可以推算出采样时刻的活度,并根据采样的时间及抽气速率,可以计算采样区域的 ^{131}I 活度浓度。

1.4 吸入所致活度的估算方法 如果在患者服药及住院治疗期间,工作人员在患者服药处及病房停留,

则会吸入空气中 ^{131}I ,导致内照射。参照 GB/T 16148—2009 及 GBZ 120—2020 [13-14],采用公式 1)、2)对内照射剂量进行估算,吸入的活度由式 1)计算:

$$A_{\text{吸}} = C_{\text{空}} B_{\text{空}} \quad (1)$$

式中: $A_{\text{吸}}$ 为吸入的时间积分值; $C_{\text{空}}$ 为 ^{131}I 在空气中的时间积分浓度,由空气采样结果获得; $B_{\text{空}}$ 为工作人员的呼吸率,对成年人, $B_{\text{空}}$ 的=0.83 m³/h [13-14]。

工作人员吸入 ^{131}I 所致内照射的待积有效剂量由式 2)计算:

$$E(\tau) = A_0 e(\tau) \quad (2)$$

式中: $E(\tau)$ 为待积有效剂量; A_0 为放射性核素摄入活度; $e(\tau)$ 为单位摄入量引起的待积有效剂量,按照 GB/T 16148—2009,在职业内照射剂量估算时,吸入的气溶胶粒子的大小取为 5 μm AMAD(activity median thermodynamic diameter, 空气动力学直径活度中值),对于吸入 ^{131}I ,对应的 $e(\tau) = 1.1 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$

2 结 果

2.1 服药区空气中 ^{131}I 活度浓度 患者服药时,共测 3 批患者(3 个样品);患者服药后共测 4 批患者(4 个样品)。测量结果如表 1。

表 1 服药区空气中 ^{131}I 活度浓度测量结果

Table 1 Activity concentration of ^{131}I in the air of administration areas

患者数量/位	服用 ^{131}I 总活度/Bq	服药时/(Bq/m ³)	服药后 5 min/(Bq/m ³)	服药后 15 min/(Bq/m ³)	患者服药方法
5	2.2×10^{10}	187	150		1.2所述
5	2.4×10^{10}	63	3		1.2所述
5	1.9×10^{10}	55		3	1.2所述
6	1.5×10^{10}			24	2位患者违规的方法

由表 1 可知,如果患者按照 1.2 所述方法服药,患者服药时服药区空气中 ^{131}I 活度浓度范围为 55~187 Bq/m³,均值为 102 Bq/m³;服药后服药区空气中 ^{131}I 活度浓度范围为 3~15 Bq/m³。在服药 3 h 内活度浓度为 3~187 Bq/m³。患者服药时与服药后不同时间段场所空气被污染程度有明显差别。总服药量 $1.9 \times 10^{10} \text{ Bq}$ (500 mCi)、 $2.4 \times 10^{10} \text{ Bq}$ (600 mCi)和 $2.2 \times 10^{10} \text{ Bq}$ (650 mCi)时的 3 批患者(每批 5 位患者)服药步骤均按照 1.2 中规定步骤服药。在研究中发现,如果患者不按照 1.2 中规定步骤服药,会造成更大的空气污染。例如,一日总服药量 $1.5 \times 10^{10} \text{ Bq}$ (410 mCi)

的批次有一位患者在服药结束后错误的将服药吸管拔出储药瓶,在拔出吸管的过程中,剩余的药液飞溅到空气中,导致空气污染,服药后 15 min 时开始测量,空气中的活度浓度仍然高达 24 Bq/m³。

2.2 碘病房空气中 ^{131}I 活度浓度 将 5 批住院患者的病房作为研究对象,患者于病房内自由活动。甲癌患者住院期间,选取总服药量 $1.9 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 的一组,在服药后 210 min 时,进行病房公共区域空气采样;另外从 5 组服药患者住院病房中选取一间服药量最大病房进行空气采样;患者住院期间的遗留垃圾和残留体液未处理。

如表 2 所示,各病房与公共区之间门打开时,病房内公共区域检测空气中 ^{131}I 活度浓度高达 $3\,091\text{ Bq/m}^3$ 。住院患者在离开核医学科后的 $5\text{ min}\sim 48\text{ h}$ 进行空气采样,检测到病房内空气中 ^{131}I 活度浓度范围为 $11\sim 242\text{ Bq/m}^3$ 。患者出院后 5 min 对空气采样测得

最大的 ^{131}I 活度浓度 242 Bq/m^3 ,比患者于病房内自由活动检测的 ^{131}I 活度浓度低一个量级。在患者出院后 48 h 检测到本次实验病房监测的最小值 11 Bq/m^3 ,比患者于病房内自由活动检测的 ^{131}I 活度浓度低 2 个量级。

表 2 碘病房空气中 ^{131}I 活度浓度测量结果

Table 2 Activity concentration of ^{131}I in the air of wards

患者数量/位	服用 ^{131}I 总活度/Bq	患者住院期间/(Bq/m^3)	出院后 5 min (Bq/m^3)	出院后 1.5 h (Bq/m^3)	出院后 3 h (Bq/m^3)	出院后 4.5 h (Bq/m^3)	出院后 6 h (Bq/m^3)	出院后 7.5 h (Bq/m^3)	出院后 9 h (Bq/m^3)	出院后 24 h (Bq/m^3)	出院后 48 h (Bq/m^3)
5	1.9×10^{10}	3 091									
5	2.5×10^{10}		242								
4	2.4×10^{10}			54		28		27		17	11
5	2.2×10^{10}				45				23		
5	2.8×10^{10}						39				

2.3 空气中 ^{131}I 致内照射剂量估算 按照公式 1)和公式 2),根据表 1 中规范操作的数据和表 2 的数据不同时间点的平均值,估算在服药处及病房内停留不同时间收到的内照射剂量如表 3 和表 4。

由表 3 和表 4 可知,在 ^{131}I 服药区,当患者服药时在此停留 30 min 会受到 $0.46\text{ }\mu\text{Sv}$ 的内照射;在 ^{131}I 病房,服药患者入院第一天停留在此地 30 min 会受到 $14.11\text{ }\mu\text{Sv}$ 的内照射。通常每周接收一批 ^{131}I 治疗 DTC 患者,每年收治患者 50 批,每批患者住院期间进入病房 30 min ,则年停留时长为 $1\,500\text{ min}$,本实验所研究的地点不同的时间段受到的年内照射剂量见表 4 中最后一行。

表 3 在患者服 ^{131}I 处,停留不同时间受照的有效剂量

Table 3 Effective radiation dose with different exposure time at administration areas of ^{131}I

在服药处停留时间/min	有效剂量/ μSv		
	服药时	服药后 5 min	服药后 15 min
5	0.08	0.01	0.00
10	0.15	0.01	0.01
15	0.23	0.02	0.01
25	0.39	0.03	0.01
30	0.46	0.04	0.01
1 500/a	23.17	2.06	0.69

表 4 在患者服 ^{131}I 后住院期间及出院后,在病房停留不同时间受照的有效剂量

Table 4 Effective radiation dose with different exposure time in wards during patient's hospitalization after administration of ^{131}I and after discharge

停留时间/min	住院期间的门厅/ μSv	出院后的病房内/ μSv									
	入院第一天	出院后 5 min	出院后 1.5 h	出院后 3 h	出院后 4.5 h	出院后 6 h	出院后 7.5 h	出院后 9 h	出院后 24 h	出院后 48 h	
5	2.35	0.18	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	
10	4.70	0.37	0.08	0.07	0.04	0.06	0.04	0.04	0.03	0.02	
15	7.06	0.55	0.12	0.10	0.06	0.09	0.06	0.05	0.04	0.02	
25	11.76	0.92	0.20	0.17	0.11	0.15	0.10	0.09	0.06	0.04	
30	14.11	1.10	0.24	0.21	0.13	0.18	0.13	0.11	0.08	0.05	
1 500/a	705.55	55.17	12.21	10.34	6.30	8.87	6.25	5.25	3.79	2.40	

均低于内照射年剂量限值 2 mSv/a (为年剂量限值 20 mSv/a 的 $1/10$)^[4],核医学工作人员在服 ^{131}I 患者入院第一天住院期间的门厅会受到最大的内照射剂量 1.41 mSv ,接近内照射年剂量限值 2 mSv/a 。

3 讨论

采样检测结果发现核医学科 ^{131}I 治疗分化性甲状腺癌(DTC)患者时场所空气会被污染。并且服药时与服药后、住院时与住院后污染程度有较大差异。空

气中 ^{131}I 的污染程度从高到低的场所依次为碘治疗患者住院时碘病房、患者服用 ^{131}I 时服药区、患者出院后病房、结束服药后的服药区。碘治疗病房在接受患者和患者离开后空气中 ^{131}I 污染程度差别较明显,其原因应该为该医院核医学科碘病房的通风设施完善,便于病房空气中 ^{131}I 污染气体及时排出。严源等^[15]在 ^{131}I 治疗场所放射性废物排放源的调查中发现高活室通风柜和甲癌治疗病房的排风系统是场所内 ^{131}I 放射性废气的主要输出途径。患者服药时和服药后空气中 ^{131}I 污染程度差别最显著,同理因为服药区有排风设施,保证了 ^{131}I 污染气体迅速被抽入排风设施,经过滤后迅速被排出。

P.Jiemwutthisak 等^[16]在实验中证明甲状腺癌患者接受放射性碘治疗后呼出的放射性 ^{131}I 气体随给药量呈线性增加。在本实验中服药区没有体现该线性关系,有可能是样本量较少、服药过程及方法及患者在服药区停留时间比较短。本研究发现每批患者服用 ^{131}I 平均总活度 $2.0 \times 10^{10} \text{ Bq}$ (540 mCi),服药时服药区空气中放射性 ^{131}I 的活度浓度平均值 102 Bq/m^3 ,每 GBq 导致平均空气浓度为 $5 (\text{Bq/m}^3)/\text{GBq}$,这一结果较 J. Ferdous 等^[17]研究中提到的当在实验室中打开含有 $4.3 \times 10^9 \text{ Bq}$ (116 mCi)的 ^{131}I 的小瓶时测得 ^{131}I 的最大活度浓度为 61 Bq/m^3 (每 GBq, 导致平均空气浓度为 $14 (\text{Bq/m}^3)/\text{GBq}$)相对低很多,因为本研究中患者服用碘 [^{131}I] 化钠口服溶液的过程中,药物基本上都是密封的,只有少量通过患者呼吸等挥发在空气中。对总服药量 $2.4 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 和 $2.2 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 的 2 批患者,服药后 5 min 对场所气体采样检测的 ^{131}I 活度浓度均值 9 Bq/m^3 小于总服药量 $1.9 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 和 $1.5 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 的 2 批服药过程后 15 min 所检测到的空气中 ^{131}I 活度浓度 14 Bq/m^3 。其原因为 ^{131}I 总服药量 $1.5 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 过程中有 2 名患者私自拔掉沾有 ^{131}I 药液的吸管,在拔管的过程中,连带药物残液洒落在空气中,致环境残留 ^{131}I 浓度升高,服药后 15 min ^{131}I 活度浓度达 24 Bq/m^3 ,远大于患者按 1.2 所述规范操作服药总量 $1.9 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 后 15 min 测得的场所空气中 ^{131}I 活度浓度 3 Bq/m^3 ,警示规范性操作服药对空气保护尤为重要。

本研究中在患者规范服药的情况下,在患者服药时、服药后 5 min 及 15 min 时,在服药区停留 30 min 的年附加内照射剂量分别为 $23.17 \mu\text{Sv}$ 、 $2.06 \mu\text{Sv}$ 及 $0.69 \mu\text{Sv}$ 。可见即使是服药时,年附加内照射剂量只有 0.02 mSv ,约为工作人员年管理目标值(5 mSv)的 $1/217$ 。朱卫

国等^[18]对 5 个省 9 家核医学科开展 ^{131}I 治疗的医院的分装和服药区域的工作人员的年(9 000 min)待积有效剂量最大值为 0.17 mSv ,本研究没分装,并采用远程给药,通常给药环节不会受到照射。结果还显示服药后 5 min 的年附加内照射剂量仅为服药时的 9%。因此建议远程给药或观察窗给药。

专用病房中,患者服用大剂量 ^{131}I 后住院期间,空气中 ^{131}I 活度浓度最大,场所空气污染程度最严重,以核医学工作人员在污染场所停留时长 1 500 min 估算在服 ^{131}I 患者入院第一天住院期间的门厅会受到的年内照射剂量 0.70 mSv ,约为工作人员年管理目标值(5.00 mSv)的 $1/7$ 。在患者住院期间无紧急情况禁止工作人员及家属进入碘病房,加强患者住院前培训和指导,患者也不能出病房区域。在第 3 批患者总服药量 $2.4 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 时,发现患者出院后病房空气中 ^{131}I 的活度浓度逐渐降低。本研究结果显示,患者出院后对病房进行保洁,每次保洁需要 30 min,如果分别在患者出院后 5 min、1.5 h、3 h、4.5 h、6 h、7.5 h、9 h、24 h、48 h 进入病房保洁,则年附加内照射剂量分别为 $55.17 \mu\text{Sv}$ 、 $12.21 \mu\text{Sv}$ 、 $10.34 \mu\text{Sv}$ 、 $6.30 \mu\text{Sv}$ 、 $8.87 \mu\text{Sv}$ 、 $6.25 \mu\text{Sv}$ 、 $5.25 \mu\text{Sv}$ 、 $3.79 \mu\text{Sv}$ 、 $2.40 \mu\text{Sv}$ 。可见,患者出院后,进入病房的时间越后延,收到的照射越低,为了降低工作人员的受照剂量,尽量延后进入病房。但是即使是患者出院 5 min 即进入病房,年附加内照射剂量只有 0.06 mSv ,约为工作人员年管理目标值(5.00 mSv)的 $1/91$ 。

本研究中,空气采样器是在裸露的情况下进行空气采样,临床工作中医护工作者会佩戴口罩过滤部分 ^{131}I 气溶胶。另外因条件限制,本次实验没有对同一批服药患者的服药过程和服药后不同时间进行追踪性空气采样,并且空气采样器是使用的便携式碘采样器。Tran 等^[11]实验一样用个人空气取样器动态对场所空气进行采样,更接近工作人员的真实环境气体的吸入量,以便分析临床工作中在患者总服药量、空气通风、操作程序、环境温湿度各种因素影响下环境空气受放射性 ^{131}I 的污染变化规律。

需说明, ^{131}I 治疗场所的空气污染与工作方式、场地设施、场地布局等因素相关,本研究的场所没有药物分装过程,患者服药过程中, ^{131}I 口服液容器是密封的,并且服药场所及病房均有良好的动力排风设施。如果有药物分装、服药时药物容器未密封、或者场所排风有问题,这些场所空气中 ^{131}I 浓度会高于本研究结果。本研究工作内照射剂量数据基于每年

收治 50 批患者, 如果每年收治 100 批患者, 上述受照剂量均为上述值的 2 倍。

核医学科放射性¹³¹I 的辐射防护包括外照射防护和内照射防护两方面, 前者多有文献报道, 后者国内文献报道较少。因为空气中放射性¹³¹I 的活度检测是一个复杂的探测过程, 多种不确定因素会影响¹³¹I 气溶胶的浓度。核医学科场所空气中¹³¹I 的活度浓度的准确测量是评估对吸入并造成人员内照射分析的重要基础。

本研究对核医学科¹³¹I 治疗患者通过呼吸和体液挥发到空气中的放射性¹³¹I 气体进行了空气采样测量。按照服药患者在场所内和离开场所后 2 种情况对核医学场所进行分析, 因场所空间布局和通风装置的辅助, 核医学科日常工作环境由摄入性辐射安全防护场所标准令人满意。其中¹³¹I 治疗 DTC 患者服药期间建议采用远程给药或观察窗给药; 患者住院期间建议除救治患者的医护人员外, 禁止其他人员进入病房。患者出院后, 尽量延后进入病房的时间, 以减少内照射剂量。临床工作中有必要对核医学科治疗 DTC 场所空气中进行空气检测, 分析放射性¹³¹I 活度浓度以评估环境污染程度。

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 刘明采集数据, 数据分析, 撰写论文; 耿建华研究设计, 数据核算与分析, 修改论文; 郑容查阅资料, 修改论文; 梁颖负责数据分析, 查阅文献; 李高峰负责实验设备准备

参考文献

- [1] 赫捷, 陈万清. 2016 年中国肿瘤登记年报[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017: 72.
He J, Chen WQ. Chinese cancer registry annual report[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2017: 72
- [2] 赫捷, 陈万清. 2015 年中国肿瘤登记年报[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017: 66.
He J, Chen WQ. Chinese cancer registry annual report[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2017: 66
- [3] 吴茜, 王荣福. 放射性核素¹³¹I 在甲亢治疗中的应用现状和进展[J]. 标记免疫分析与临床, 2015, 22 (1) : 66-68. DOI: 10.11748/bjmy.issn.1006-1703.2015.01.021.
Wu Q, Wang RF. Overview and Progress of ¹³¹I in the Treatment of Hyperthyroidism[J]. Lab Immun Clin Med, 2015, 22 (1) : 66-68. DOI: 10.11748/bjmy.issn.1006-1703.2015.01.021.
- [4] Lauri C, Di Traglia S, Galli F, et al. Current status of PET imaging of differentiated thyroid cancer with second generation radiopharmaceuticals[J]. QJ Nucl Med Mol Imaging, 2015, 59 (1) : 105-115.
- [5] 中华医学会内分泌学分会, 中华医学会外科学分会内分泌学组, 中国抗癌协会头颈肿瘤专业委员会, 等. 甲状腺结节和分化型甲状腺癌诊治指南[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2013, 33(2): 96-115. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2013.02.003.
Chinese Society of Endocrinology, Chinese Society of Nuclear Medicine, Head and neck tumor Committee of China Anti Cancer Association, et al. Management guidelines for patients with thyroid nodules and differentiated thyroid[J]. Chin J Nucl Med Mol Imag, 2013, 33(2): 96-115. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2013.02.003.
- [6] Perros P, Boelaert K, Colley S, et al. Guidelines for the management of thyroid cancer[J]. Clin Endocrinol(Oxf), 2014, 81 (Suppl 1) : 1-122. DOI: 10.1111/cen.12515.
- [7] Pacini F, Castagna MG, Brilli L, et al. Thyroid cancer: ESMO clinical practice guidelines for diagnosis, treatment and follow-up[J]. Ann Oncol, 2012, 23 (Suppl 7) : 110-119. DOI: 10.1093/annonc/mds230.
- [8] 中华医学会核医学分会. 分化型甲状腺癌术后¹³¹I 治疗临床路径专家共识(2017版)[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2018, 38 (6) : 416-419. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.06.009.
Chinese Society of Nuclear Medicine. 2017 expert consensus for clinical pathways on postoperative ¹³¹I treatment of differentiated thyroid carcinoma[J]. Chin J Nucl Med Mol Imag, 2018, 38 (6) : 416-419. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.06.009.
- [9] 高再荣. 《分化型甲状腺癌术后¹³¹I 治疗临床路径专家共识(2017版)》解读[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2018, 38 (6) : 420-421. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.06.010.
Gao ZR. Interpretation for 2017 expert consensus for clinical pathways on postoperative ¹³¹I treatment of differentiated thyroid carcinoma[J]. Chin J Nucl Med Mol Imag, 2018, 38 (6) : 420-421. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.06.010.
- [10] Kluczevska-Galka A, Janowski P, Mroz T, et al. I-131 Internal Contamination and committed dose assessment among nuclear medicine medical personnel[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2018, 179 (3) : 275-281. DOI: 10.1093/rpd/ncx274.
- [11] Tran XH, Huynh TP, Nguyen VH. Estimating the internal dose for ¹³¹I production workers from air sampling method[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2017, 175 (1) : 58-64. DOI: 10.1093/rpd/ncw269.
- [12] 刘明, 耿建华, 梁颖. 核医学治疗分化型甲状腺癌场所空气中¹³¹I 浓度的研究进展[J]. 中国辐射卫生, 2019, 28 (6) : 734-736. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2019.06.036.
Liu M, Geng JH, Liang Y. Research progress of ¹³¹I concentration in the air in the ¹³¹I thyroid carcinoma treatment site[J]. Chin J Radiol Health, 2019, 28 (6) : 734-736. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2019.06.036.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会. GB/T 16148—2009 放射性核素摄入量及内照射剂

量估算规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

General Administration of quality supervision, inspection and Quarantine of the people's Republic of China and China National Standardization Administration Committee. GB/T 16148—2009 Specification for assessments of intakes and internal doses of radionuclides[S]. Beijing: Standard press of China, 2009

- [14] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GBZ 120—2020 核医学放射防护要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.

National Health Commission. GBZ 120—2020 Requirements for radiological protection in nuclear medicine[S]. Beijing: Standard press of China, 2020.

- [15] 严源, 金潇, 邵明刚. I-131治疗场所放射性废气排放源项调查与评价[J]. 同位素, 2019, 32(6): 388-39. DOI: [10.7538/tws.2018.youxian.068](https://doi.org/10.7538/tws.2018.youxian.068).

Yan Y, Jin X, Shao MG. Investigation and evaluation of the radioactive waste gas source terms discharged from the nuclide I-131 treatment site[J]. J Isot, 2019, 32(6): 388-39. DOI:

[10.7538/tws.2018.youxian.068](https://doi.org/10.7538/tws.2018.youxian.068).

- [16] Jiemwutthisak P, Sritongkul N, Chaudakshetrin P, et al. Air Monitoring to control the intake of airborne radioiodine-131 contaminants by nuclear medicine workers[C]//6th Annual Scientific Meeting on Challenges of Quality Assurance in Radiation Medicine. Phitsanulok, 2012: 87-90.

- [17] Ferdous J, Sharmin N, Begum A. Airborne Radioactivity in hot lab of nuclear medicine[J]. J Sci Res, 2017, 9(2): 159-166. DOI: [10.3329/jsr.v9i2.29873](https://doi.org/10.3329/jsr.v9i2.29873).

- [18] 朱卫国, 侯长松, 佟鹏, 等. 我国五省核医学工作场所放射性核素浓度分析[J]. 中国辐射卫生, 2020, 29(3): 249-252. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2020.03.012](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2020.03.012).

Zhu WG, Hou CS, Tong P, et al. Analysis of radionuclide concentration in workplaces of nuclear medicine in five provinces of China[J]. Chin J Radiol Health, 2020, 29(3): 249-252. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2020.03.012](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2020.03.012).

(收稿日期: 2021-10-21)

(上接第 185 页)

- [15] 王红波. 核医学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.

Wang HB. Study on occupational internal exposure of nuclear medicine workers[D]. Beijing: Chinese Center for Disease Control and prevention, 2017.

- [16] 彭玄, 张建峰, 拓飞, 等. 便携式γ谱仪在放射工作人员甲状腺¹³¹I监测中的应用[J]. 中国辐射卫生, 2021, 30(1): 34-37, 43. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2021.01.008](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2021.01.008).

Peng X, Zhang JF, Tuo F, et al. Application of portable γ-ray spectrometer in monitoring thyr-oid ¹³¹I in radiation workers[J]. Chin J Radiol Health, 2021, 30(1): 34-37, 43. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2021.01.008](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2021.01.008).

- [17] 国家卫生和计划生育委员会. GBZ 129—2016 职业性内照射个人监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

National Health and Family Planning Commission. GBZ 129 —2016 Specifications for individual monitoring of occupational internal exposure[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.

- [18] Valentin J. Basic anato-mical and physiological data for use in radiological protection: reference values ICRP publication 89[J]. Ann ICRP, 2002, 32(3/4): 1-277. DOI: [10.1016/S0146-6453\(03\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S0146-6453(03)00002-2).

- [19] 国家卫生和计划生育委员会. GBZ/T 200.3—2014 辐射防护用参考人 第3部分主要生理学参数[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.

National Health and Family Planning Commission. GBZ/T 200.3 —2014 Reference individuals for use in radiation protection—Part 3 : main physiological para-meters[S]. Beijing: China Standard Press, 2015.

(收稿日期: 2020-10-11)