

·临床研究·

$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP 骨显像患者对公众及核医学技师照射剂量的估算

蒋丽莎 向镛兆 刘斌

四川大学华西医院核医学科, 成都 610041

通信作者: 刘斌, Email: binl@foxmail.com

【摘要】 目的 估算 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -亚甲基二膦酸盐(MDP)骨显像患者对公众及核医学技师产生的照射剂量。方法 选取2019年9月至12月于四川大学华西医院行 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像的64例患者进行回顾性研究, 其中男性38例、女性26例, 年龄24~82(55.1±12.8)岁。在静脉注射 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP 15 min后, 使用核辐射监测探测仪测量距离患者1.0 m和0.3 m处的剂量当量率(DR)。根据美国国家辐射防护和测量委员会提出的人类社会活动模式和国际辐射防护委员会提出的 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP在人体的代谢模型, 计算 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像患者对公众及核医学技师的照射剂量。结果 64例患者的DR(1.0 m)为15.9~32.7(22.6±3.6) $\mu\text{Sv/h}$ 、DR(0.3 m)为70.8~154.2(105.5±20.9) $\mu\text{Sv/h}$ 。与 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像患者白天接触的家庭成员的照射剂量为13.3~27.4(18.9±3.0) μSv ; 夜间同床共寝的家庭成员的照射剂量为78.2~170.3(116.5±23.4) μSv ; 单位工作同事的照射剂量为17.6~36.2(25.0±4.0) μSv ; 邻座乘客的照射剂量为219.9~478.8(327.5±65.7) μSv 。核医学技师每接触1例 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像患者的照射剂量为3.9~8.5(5.8±1.2) μSv 。结论 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像患者对公众及核医学技师的照射剂量远低于相应人群的照射剂量限值。

【关键词】 ^{99}m 锝美罗酸盐; 骨显像; 照射剂量; 公众; 核医学技师

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202009027-00063](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202009027-00063)

Estimated radiation dose from patients undergoing $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP bone scintigraphy: implications for the general public and nuclear medicine technicians

Jiang Lisha, Xiang Yongzhao, Liu Bin

Department of Nuclear Medicine, West China Hospital of Sichuan University, Chengdu 610041, China

Corresponding author: Liu Bin, Email: binl@foxmail.com

【Abstract】 Objective Radiation doses to the general public and nuclear medicine technicians from patients undergoing $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -methylenediphosphonate(MDP) bone scintigraphy were estimated. **Methods** A total of 64 patients (38 males and 26 females, aged 24–82 (55.1±12.8) years) undergoing bone scintigraphy with $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP were retrospectively enrolled in this study. Approximately at 15 minutes after injection of $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP, whole-body dose-equivalent rate (DR) was measured with a radiation-survey meter at 0.3 meter and 1.0 meter from the patients with nuclear radiation monitoring detector. On the basis of the human social contact model defined by the National Council on Radiation Protection and Measurements and human $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP metabolic rate suggested by the International Commission of Radiological Protection, the radiation doses to the general public and the nuclear medicine technicians after exposure to patients undergoing $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP bone scintigraphy were calculated. **Results** The whole-body DR values of 64 patients at 15 minutes after injection of $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP were 70.8–154.2 (105.5 ± 20.9) and 15.9–32.7 (22.6±3.6) $\mu\text{Sv/h}$, respectively, at 0.3 meter and 1.0 meter. The following radiation doses were estimated: to a family member contacting with a patient at daytime 13.3–27.4 (18.9±3.0) μSv ; to a family member sleeping with a patient at night 78.2–170.3 (116.5±23.4) μSv , to a colleague 17.6–36.2 (25.0±4.0) μSv and to an adjacent passenger 219.9–478.8 (327.5±65.7) μSv . The radiation dose to a technician per $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP imaging patient was

estimated to be 3.9–8.5 (5.8±1.2) μSv . **Conclusion** The predicted radiation doses to the general public and technicians from exposure to patients undergoing $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP bone scintigraphy are significantly lower than the regulatory dose limits.

【Key words】 Technetium Tc 99m medronate; Bone scintigraphy; Radiation dose; General public; Nuclear medicine technicians

DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202009027-00063

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 骨显像是临床核医学最常见的诊疗项目之一^[1],我国核医学现状的普查结果显示,2017年 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 骨显像达 128.5 万例次^[2]。近些年,随着 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 骨显像诊疗数量的逐步增加, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 骨显像患者对公众及医护人员存在潜在照射风险的问题愈发受到关注^[3-5]。本研究估算了 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 骨显像患者对公众及核医学技师的照射剂量(radiation dose, RD),以期评估公众及医护人员实际辐射风险的高低。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取 2019 年 9 至 12 月于四川大学华西医院核医学科行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 骨显像的 64 例恶性肿瘤患者进行回顾性研究,其中男性 38 例、女性 26 例,年龄 24~82(55.1±12.8)岁。包括乳腺癌 24 例、肺癌 18 例、前列腺癌 13 例、其他恶性肿瘤 9 例。所有患者均在检查前签署了知情同意书。本研究符合《赫尔辛基宣言》的原则。

1.2 仪器与药物

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 由成都欣科医药有限公司提供(放射化学纯度>95%)。显像仪为荷兰飞利浦公司生产的 SkyLight 双探头 SPECT 仪。辐射剂量的监测使用美国 Inspector 公司的手持式核辐射监测探测仪(IA-V2 型),使用盖革-弥勒计数管,有效直径为 45 mm,云母窗密度为 1.5 mg/cm³。剂量测量范围为 0.01~1100 $\mu\text{Sv/h}$,测量灵敏度为 350 cpm/($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}$) (cpm 为每分钟计数),测量精确度为±10%。

1.3 显像方法

患者静脉注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 740~925 MBq 3 h 后,行全身前、后位骨显像,扫描速度为 15 cm/min,参数:能峰 140 keV、能窗 20%、矩阵 1024×256、放大倍数 1.0。

1.4 辐射剂量的测定

将手持式核辐射监测探测仪置于距地面 1 m

高的铅柜并保持固定,先测量本底剂量当量率(dose-equivalent rate, DR)。嘱患者于静脉注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 后 15 min 分别直立于探测仪前的 1.0 m 和 0.3 m 处^[6-8]进行 DR 的测量。每次测量时间为 60 s,重复测量 3 次,取平均值。每次测量时,患者身体的冠状面与探测仪的探测窗保持平行。分别用距患者 1.0 m 和 0.3 m 处的 DR 减去本底 DR,得到距患者 1.0 m 和 0.3 m 处的 DR,记作 DR(1.0 m)和 DR(0.3 m)。

1.5 公众及核医学技师照射剂量的计算

按照美国国家辐射防护和测量委员会(NCRP) 155 号出版物^[9]提出的公众人群 RD 的计算方法,根据公式(1)计算 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 骨显像患者对公众的 RD,以下公式均参考文献 [9]。

$$\text{RD} = 1.44 \times \text{DR} \times \text{OF} \times \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^n F_i T_{e_i} e^{-\frac{0.693t}{T_{e_i}}} dt \quad (1)$$

公式(1)中,OF 为暴露因子(occupancy factor, OF),指接受核素治疗或显像的患者平均每天在特定的距离接触公众人群的时间分数。美国国家辐射防护和测量委员会定义了人类社会活动模式及其对应的 OF:①与家庭成员白天接触时,接触距离为 1.0 m,接触时间为 6 h/d,OF(1.0 m)=6 h/24 h=0.25;②与家庭成员夜间同床共寝时,接触距离为 0.3 m,睡眠时间为 8 h/d,OF(0.3 m)=8 h/24 h=0.33;③与单位同事间接接触时,接触距离为 1.0 m,接触时间为 8 h/d,OF(1.0 m)=8 h/24 h=0.33^[9]。 t 为静脉注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 后的时间(h), t_1 和 t_2 分别为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 骨显像患者与公众接触的开始和结束时间(h)。国际辐射防护委员会(International Commission on Radiological Protection, ICRP)的 128 号出版物^[10]以房-室模型的形式定义了 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 在人体内的代谢。 F_i 为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 在各室的分布数,分别为 0.3、0.3、0.4, T_{e_i} 为各室的有效半衰期,分别为 0.46、1.94、5.56 h。

本研究假设患者静脉注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 后 3 h 开

始显像,核医学技师因指导体位摆放短暂接触患者,接触时间为5 min,接触距离为0.3 m,即 $t_1=3$ h, $t_2=3.08$ h,根据公式(2)计算核医学技师接触1例 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像患者的RD:

$$\text{RD} = 1.44 \times \text{DR}(0.3 \text{ m}) \times \int_{3.0 \text{ h}}^{3.08 \text{ h}} \sum_{i=1}^n F_i T_{e_i} e^{-\frac{0.693t}{T_{e_i}}} dt \quad (2)$$

假设 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP注射后3.5 h患者完成显像,离开核医学科室,开始接触工作同事和家庭成员,即 $t_1=3.5$ h, $t_2=\infty$,将不同的OF(即0.25、0.33)代入公式(3)分别计算家庭成员和工作同事的RD:

$$\text{RD} = 1.44 \times \text{DR} \times \text{OF} \times \int_{3.5 \text{ h}}^{\infty} \sum_{i=1}^n F_i T_{e_i} e^{-\frac{0.693t}{T_{e_i}}} dt \quad (3)$$

患者完成显像当天若全程乘坐公共交通工具,即 $t_1=3.5$ h, $t_2=24$ h, $\text{OF}=1$,并假定患者与邻座乘客的距离为0.3 m,根据公式(4)计算邻座乘客的RD:

$$\text{RD} = 1.44 \times \text{DR}(0.3 \text{ m}) \times \int_{3.5 \text{ h}}^{24 \text{ h}} \sum_{i=1}^n F_i T_{e_i} e^{-\frac{0.693t}{T_{e_i}}} dt \quad (4)$$

符合正态分布的RD以 $\bar{x} \pm s$ 表示。

2 结果

2.1 患者的DR

静脉注射 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP后15 min,64例患者的DR(1.0 m)为15.9~32.7(22.6 \pm 3.6) $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 、DR(0.3 m)为70.8~154.2(105.5 \pm 20.9) $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

2.2 RD

$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像患者与公众及核医学技师接触产生的RD见表1。

3 讨论

全身骨显像是核医学主要的诊疗项目之一, $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP是其最常用的显像药物^[1-2]。 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP在患者体内的代谢率是决定公众及医护人员RD的重要因素之一,目前鲜见通过实测患者的外照射剂量率,同时结合 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP在患者体内的代谢率,对公众的RD进行估算的报道。本研究根据美国国家辐射防护和测量委员会定义的OF值,依据ICRP发布的 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP在人体的代谢数据,综合考虑了 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP在人体内的生物和物理代谢过程,对公众的RD进行了估算。本研究的结果显示,按照目前临床广泛采用的740~925 MBq $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP的用药方案, $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像患者在完成显像离开核医学科室后,当日即使与配偶同床共寝或全天乘坐

表1 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像患者对公众及核医学技师产生的照射剂量(μSv)

Table 1 Radiation dose to the general public and nuclear medicine technicians from contacting patient undergoing $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP bone scintigraphy (μSv)

接触人群	照射剂量($\bar{x} \pm s$)	照射剂量的范围
家庭成员		
夜间同床共睡	116.5 \pm 23.4	78.2~170.3
白天接触	18.9 \pm 3.0	13.3~27.4
夜间同床共睡+白天接触	135.4 \pm 26.0	92.5~195.7
工作同事	25.0 \pm 4.0	17.6~36.2
邻座乘客	327.5 \pm 65.7	219.9~478.8
核医学技师(接触1例患者)	5.8 \pm 1.2	3.9~8.5

注:MDP为亚甲基二膦酸盐

公共交通工具,公众的RD也远低于ICRP提出的1 mSv/年的限值^[1]。这表明,对公众的照射风险而言, $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像的“安全窗”较宽。在完成检查后,患者基本的社会和家庭生活可不受限制。

核医学技师在日常工作中不可避免地接触患者,本研究估算了核医学技师因指导体位摆放,短期接触 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像患者时的RD。每接触1例 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像患者,核医学技师的RD为3.9~8.5(5.8 \pm 1.2) μSv 。以ICRP提出的从事放射性工作人员的年均受照剂量 ≤ 20 mSv计算^[1],1位技师1年内接触2347例 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像患者,其受照剂量才达剂量限值。

制定辐射防护措施及指导意见时,应在确保公众和核医学技师的RD不超过剂量限值的同时,兼顾核素诊疗患者的生活质量,不应过度地限制患者的社会和家庭活动。从本研究的结果可以看出, $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像患者对公众及核医学技师产生的RD较低,公众及核医学技师不必过度担心、恐惧接触 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP骨显像患者。

本研究未能多时点实测 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP在患者体内的代谢情况,而是通过国际权威机构ICRP提供的 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP生物代谢信息,估算 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP在患者体内的代谢,由此进一步推算患者对公众和核医学技师的RD。目前,对于物理半衰期较长的放射性核素,多是通过多时点实测方法了解放射性核素及其标记物在患者体内的代谢^[12]。但对于 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 等物理半衰期较短的放射性核素,多是依赖现有的人体代谢动力学模型^[13]。未来如何精确测量物理半衰期较短的放射性核素及其标记物在人体内的代谢,仍

有待进一步研究。核医学技师在核医学诊疗的全过程中,如放射性药物的分装、显像仪器的质控等每一个环节,都不可避免地受到辐射。放射性核素挥发造成的吸入式内 RD 也同样存在。目前的研究多根据核医学技师某一工作岗位或工作环节的特点,计算并评估其 RD,无法测量核医学技师工作过程中全部的 RD。本研究的结果提示,在患者注射^{99m}Tc-MDP后较短时间内与其接触,RD较低,不必担心或恐惧。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,不涉及任何利益冲突。

作者贡献声明 蒋丽莎、向镛兆负责现场的实验与论文的撰写;刘斌负责方法的建立与论文的审阅。

参 考 文 献

- [1] Zhao Z, Zhou K, Liu B. Added value of SPECT/CT in the evaluation of sacral fracture in patients with lung cancer[J]. *Clin Nucl Med*, 2018, 43(6): e195-e197. DOI: [10.1097/RLU.0000000000002082](https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000002082).
- [2] 中华医学会核医学分会. 2018年全国核医学现状普查结果简报[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2018, 38(12): 813-814. DOI: [10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.12.010](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.12.010).
Chinese Society of Nuclear Medicine. A brief report on the results of the national survey of nuclear medicine in 2018[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2018, 38(12): 813-814. DOI: [10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.12.010](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.12.010).
- [3] Hauptmann M, Daniels RD, Cardis E, et al. Epidemiological studies of low-dose ionizing radiation and cancer: summary bias assessment and meta-analysis[J]. *J Natl Cancer Inst Monogr*, 2020, 2020(56): 188-200. DOI: [10.1093/jncimonographs/lgaa010](https://doi.org/10.1093/jncimonographs/lgaa010).
- [4] Little MP, Kitahara CM, Cahoon EK, et al. Occupational radiation exposure and risk of cataract incidence in a cohort of US radiologic technologists[J]. *Eur J Epidemiol*, 2018, 33(12): 1179-1191. DOI: [10.1007/s10654-018-0435-3](https://doi.org/10.1007/s10654-018-0435-3).
- [5] Bernier MO, Journy N, Villoing D, et al. Cataract risk in a cohort of U. S. radiologic technologists performing nuclear medicine procedures[J]. *Radiology*, 2018, 286(2): 592-601. DOI: [10.1148/radiol.2017170683](https://doi.org/10.1148/radiol.2017170683).
- [6] Jin P, Feng HJ, Ouyang W, et al. Radiation dose rates of differentiated thyroid cancer patients after ¹³¹I therapy[J]. *Radiat Environ Biophys*, 2018, 57(2): 169-177. DOI: [10.1007/s00411-018-0736-7](https://doi.org/10.1007/s00411-018-0736-7).
- [7] Han S, Jin S, Yoo SH, et al. A practical individualized radiation precaution based on the dose rate at release time after inpatient ¹³¹I ablation therapy[J/OL]. *PLoS One*, 2021, 16(5): e0251627 [2020-09-13]. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0251627>. DOI: [10.1371/journal.pone.0251627](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251627).
- [8] Stachura A, Gryn T, Kaluza B, et al. Predictors of euthyrosis in hyperthyroid patients treated with radioiodine ¹³¹I: a retrospective study[J/OL]. *BMC Endocr Disord*, 2020, 20(1): 77[2020-09-13]. <https://bmcendocrdisord.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12902-020-00551-2>. DOI: [10.1186/s12902-020-00551-2](https://doi.org/10.1186/s12902-020-00551-2).
- [9] National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP report No. 155-management of radionuclide therapy patients(2006)[R]. Bethesda: National Council on Radiation Protection and Measurements, 2006.
- [10] Mattsson S, Johansson L, Leide Svegborn S, et al. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals: a compendium of current information related to frequently used substances[J]. *Ann ICRP*, 2015, 44(S2): S7-S321. DOI: [10.1177/0146645314558019](https://doi.org/10.1177/0146645314558019).
- [11] López PO, Dauer LT, Loose R, et al. ICRP publication 139: occupational radiological protection in interventional procedures [J]. *Ann ICRP*, 2018, 47(2): 1-118. DOI: [10.1177/0146645317750356](https://doi.org/10.1177/0146645317750356).
- [12] Foreman C, Dewji S. Estimation of external dose rates to hotel workers from bed linens contaminated by ¹³¹I patients[J]. *Health Phys*, 2020, 118(6): 615-622. DOI: [10.1097/HP.0000000000001141](https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001141).
- [13] Stabin MG, Siegel JA. RADAR dose estimate report: a compendium of radiopharmaceutical dose estimates based on OLINDA/EXM version 2.0[J]. *J Nucl Med*, 2018, 59(1): 154-160. DOI: [10.2967/jnumed.117.196261](https://doi.org/10.2967/jnumed.117.196261).

(收稿日期: 2020-09-14)