

^{68}Ga -奥曲肽PET/CT显像患者对周围人群产生的有效剂量的估算

Estimation of the effective dose of ^{68}Ga -Octreotide PET/CT imaging patients to the surrounding population

Pan Yongxiang, Wang Feng, Ding Lixin, Yang Zhi

引用本文:

潘永祥, 王凤, 丁立新, 等. ^{68}Ga -奥曲肽PET/CT显像患者对周围人群产生的有效剂量的估算[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2022, 46(12): 713-717. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202202007-00245

Pan Yongxiang, Wang Feng, Ding Lixin, et al. Estimation of the effective dose of ^{68}Ga -Octreotide PET/CT imaging patients to the surrounding population[J]. *International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine*, 2022, 46(12): 713-717. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202202007-00245

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202202007-00245>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

^{68}Ga -FAPI在疾病诊疗中的应用

Application of ^{68}Ga -FAPI in disease diagnosis and treatment

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(7): 449-454 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202006019-00056>

^{18}F -FDG和 ^{68}Ga -DOTA-SSA双示踪剂PET/CT在神经内分泌肿瘤中的临床应用

Clinical application of ^{18}F -FDG and ^{68}Ga -DOTA-SSA dual-tracer PET/CT in neuroendocrine neoplasms

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(9): 585-590 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202008043-00091>

基于 ^{18}F -FDG PET VCAR有效预测淋巴瘤诊疗效能的最新进展

Recent advances of effective prediction of lymphoma diagnosis and therapeutic based on ^{18}F -FDG PET VCAR

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(3): 187-191 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202003031-00032>

^{68}Ga -FAPI PET/CT在恶性肿瘤中的临床应用

Clinical application of ^{68}Ga -FAPI PET/CT in malignant tumors

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(5): 307-312 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202102029-00046>

^{68}Ga -PSMA-11 PET/CT代谢体积参数在不同风险分层的初诊前列腺癌患者中的差异研究

Study on the differences of metabolic volume parameters of ^{68}Ga -PSMA-11 PET/CT among risk stratified subgroups in patients with newly diagnosed prostate carcinoma

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(12): 741-749 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202009005-00113>

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

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

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(6): 344-347 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202009027-00063>

·临床研究·

^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 显像患者对周围人群产生的有效剂量的估算

潘永祥 王凤 丁立新 杨志

北京大学肿瘤医院, 北京市肿瘤防治研究所核医学科, 国家药监局放射性药物研究与评价重点实验室, 恶性肿瘤发病机制及转化研究教育部重点实验室, 北京 100142

通信作者: 杨志, Email: pekyz@163.com

【摘要】 目的 估算 ^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 显像患者对周围人群产生的有效剂量。方法 采用简单随机抽样的方法选取 2021 年 10 至 12 月于北京大学肿瘤医院接受 ^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 显像的 20 例患者进行前瞻性研究, 其中男性 15 例、女性 5 例, 年龄 30~68(49.0±12.2)岁。在患者静脉注射 ^{68}Ga -奥曲肽 0 h 后, 使用辐射监测剂量仪测量距患者 1.0 m 处的空气吸收剂量率, 注射 1.0 h 后测量距患者 0.3 m 处的空气吸收剂量率, 注射 1.5 h 后测量距患者 0.3、0.5、1.0 和 1.5 m 处的空气吸收剂量率。依据美国国家辐射防护和测量委员会第 155 号报告提出的人类社会活动模式, 采用积分法估算 ^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 显像患者对周围人群产生的有效剂量。结果 注射 ^{68}Ga -奥曲肽 0 h 后, 距患者 1.0 m 处的空气吸收剂量率为 12.97~33.67 (20.24±6.57) $\mu\text{Sv/h}$; 注射 1.0 h 后, 距患者 0.3 m 处的空气吸收剂量率为 32.73~57.69(48.98±6.20) $\mu\text{Sv/h}$; 注射 1.5 h 后, 距患者 0.3、0.5、1.0、1.5 m 处的空气吸收剂量率分别为 24.04~42.39(35.98±4.56) $\mu\text{Sv/h}$ 、11.83~28.83(20.70±4.55) $\mu\text{Sv/h}$ 、5.17~13.42(8.07±2.61) $\mu\text{Sv/h}$ 、1.51~7.01(3.75±1.72) $\mu\text{Sv/h}$ 。与 ^{68}Ga -奥曲肽显像患者白天接触的家庭成员受照的有效剂量为 8.22~21.33(12.83±4.15) μSv , 夜间同床共睡的家庭成员受照的有效剂量为 38.92~68.62(58.25±7.38) μSv , 单位同事受照的有效剂量为 8.37~21.73(13.06±4.23) μSv , 同车邻座乘客受照的有效剂量为 32.97~58.15(49.36±6.26) μSv 。每接触一例患者, 操作人员受照的有效剂量为 2.66~4.69(3.98±0.50) μSv , 陪护护士受照的有效剂量为 9.70~25.17(15.13±4.90) μSv 。结论 ^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 显像患者对周围人群产生的有效剂量远低于国家标准规定的有效剂量限值。

【关键词】 镓放射性同位素; 奥曲肽; 正电子发射断层显像术; 体层摄影术, X 线计算机; 辐射防护; 有效剂量

基金项目: 国家自然科学基金(81871386); 北京大学肿瘤医院学术骨干基金(2021-5)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202202007-00245](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202202007-00245)

Estimation of the effective dose of ^{68}Ga -Octreotide PET/CT imaging patients to the surrounding population

Pan Yongxiang, Wang Feng, Ding Lixin, Yang Zhi

Department of Nuclear Medicine, Peking University Cancer Hospital & Institute, NMPA Key Laboratory for Research and Evaluation of Radiopharmaceuticals (National Medical Products Administration), Key Laboratory of Carcinogenesis and Translational Research (Ministry of Education/Beijing), Beijing 100142, China

Corresponding author: Yang Zhi, Email: pekyz@163.com

【Abstract】 **Objective** To estimate the effective dose of ^{68}Ga -Octreotide PET/CT imaging patients to the surrounding population. **Methods** Twenty patients (15 males and 5 females, aged 30~68 (49.0±12.2) years) who received ^{68}Ga -Octreotide PET/CT imaging at Peking University Cancer Hospital from October 2021 to December 2021 were randomly selected. After intravenous injection of ^{68}Ga -Octreotide, the air absorbed dose rate at 1 m away from the patient was measured by radiation

monitoring dosimeter 0 h later, at 0.3 m away from the patient 1.0 h later, and at 0.3, 0.5, 1.0, and 1.5 m away from the patient 1.5 h later. Based on the patterns of human social activity proposed by the National Commission for Radiological Protection and Measurement No.155 report, integral method was used to estimate the effective dose of ^{68}Ga -Octreotide PET/CT imaging patients to the surrounding population. **Results** Immediately after the injection of ^{68}Ga -Octreotide, the air absorbed dose rate at 1.0 m away from the patient was 12.97–33.67 (20.24±6.57) $\mu\text{Sv/h}$. At 1.0 h later, the air absorbed dose rate at 0.3 m away from the patient was 32.73–57.69(48.98±6.20) $\mu\text{Sv/h}$. At 1.5 h later, the air absorbed dose rates at 0.3, 0.5, 1.0, and 1.5 m away from the patient were 24.04–42.39 (35.98±4.56), 11.83–28.83 (20.70±4.55), 5.17–13.42 (8.07±2.61), and 1.51–7.01 (3.75±1.72) $\mu\text{Sv/h}$, respectively. The estimated effective doses were as follows: 8.22–21.33 (12.83±4.15) μSv to a family member exposed to the patients at the daytime; 38.92–68.62 (58.25±7.38) μSv to a family member who shared a bed at night with the patients; 8.37–21.73 (13.06±4.23) μSv to a colleague; and 32.97–58.15 (49.36±6.26) μSv to an adjacent passenger. The radiation doses per ^{68}Ga -Octreotide PET/CT imaging patients was estimated to be 2.66–4.69 (3.98±0.50) μSv to the operator and 9.70–25.17(15.13±4.90) μSv to the attending nurses. **Conclusion** The effective dose of ^{68}Ga Octreotide PET/CT imaging patients to the surrounding population is far lower than the effective dose limit specified in the national standard.

【 Key words 】 Gallium radioisotopes; Octreotide; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Radiation protection; Effective dose

Fund programs: National Natural Science Foundation of China (81871386); Academic Backbone Fund of Peking University Cancer Hospital (2021-5)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202202007-00245](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202202007-00245)

放射性药物注射入 PET/CT 显像患者体内后, 患者即成为一个移动的辐射源, 可能对其密切接触者造成一定的辐射危害。随着 PET/CT 显像人数的逐年增长, 有必要对 PET/CT 显像患者对周围人群产生的辐射剂量是否处于国家标准规定的剂量限值范围内进行研究, 从而使公众正确认识 PET/CT 检查, 充分发挥 PET/CT 的优势, 提高对患者的诊疗效果^[1-4]。 ^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 检查是诊断神经内分泌肿瘤的重要影像学检查手段, 在临床中的应用日益广泛^[5-6]。本研究估算了 ^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 显像患者对周围人群产生的有效剂量, 并评估公众人群及医护人员实际受到的辐射风险。

1 资料与方法

1.1 研究对象

采用简单随机抽样的方法选取 2021 年 10 至 12 月于北京大学肿瘤医院核医学科接受 ^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 显像的 20 例神经内分泌肿瘤患者进行前瞻性研究, 其中男性 15 例、女性 5 例, 年龄 30~68(49.0±12.2)岁。所有患者均签署了知情同意书。本研究经北京肿瘤医院伦理委员会批准(批准号: 2014011313)。

1.2 药物与仪器

^{68}Ga 由北京大学肿瘤医院核医学科使用 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器制备, 并与奥曲肽前体标记为 ^{68}Ga -奥曲肽, 放射化学纯度>95%。20 例患者的体重为 55~95 (73.7±12.3) kg。 ^{68}Ga -奥曲肽的注射活度为 109.15~201.28 (168.72±20.51) MBq。空气吸收剂量率的测量采用美国 S.E.International 公司生产的 Inspector Alert IA-V2 型手持式核辐射监测剂量仪, 使用美国 S.E.International 公司生产的 G-M 计数管, 有效直径为 45 mm, 云母窗密度为 1.5~2.0 mg/cm³, 测量范围为 0.01~1 000 $\mu\text{Gy/h}$, 测量灵敏度为 1 000 cpm/($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}$) (cpm 为每分钟计数), 测量精度为±15%。

1.3 测量方法

测量空气吸收剂量率前先将核辐射监测剂量仪预热 30 min, 测量时将剂量仪置于距地面 1.0 m 的位置并保持固定, 行 ^{68}Ga -奥曲肽显像的患者面对剂量仪正前方站立, 与剂量仪探测窗平行, 每次测量的时间为 20 s, 重复测量 3 次, 取平均值。在患者静脉注射 ^{68}Ga -奥曲肽 0 h 后, 使用辐射监测剂量仪测量距患者 1.0 m 处的空气吸收剂量率; 1.0 h 后, 测量距离患者 0.3 m 处的空气吸收剂量率; 1.5 h 后, 分别测量距离患者 0.3、0.5、1.0 和 1.5 m

处的空气吸收剂量率。每次测量前均先测量本底空气吸收剂量率,并在测得的空气吸收剂量率中减去本底值,得到初始空气吸收剂量率 \dot{D}_0 ,把距患者0.3、0.5、1.0和1.5 m处的初始空气吸收剂量率分别记为 $\dot{D}_0(0.3\text{ m})$ 、 $\dot{D}_0(0.5\text{ m})$ 、 $\dot{D}_0(1.0\text{ m})$ 和 $\dot{D}_0(1.5\text{ m})$ 。

1.4 周围人群受照有效剂量的计算

周围人群受照的有效剂量采用积分法计算,其可用公式(1)^[7]计算得出:

$$D = \dot{D} \cdot t \quad (1)$$

公式(1)中, D 为有效剂量(μSv); \dot{D} 为空气吸收剂量率($\mu\text{Sv/h}$); t 为受照时间(h)。

公式(1)的基本原理为:先测量周围人群与PET/CT显像患者的距离以及在该距离时的接触时间(h),并测量该距离时的空气吸收剂量率(\dot{D}),二者乘积即为周围人群在该距离时接触显像患者受照的有效剂量。由于核素 ^{68}Ga 的衰变会导致患者体外的空气吸收剂量率降低,因此患者出院后,其体外照射导致的空气吸收剂量率逐渐降低,若患者出院时初始空气吸收剂量率为 \dot{D}_0 ,根据选定的接触模式,与显像患者接触的周围人群中的个体在某时间段内所受照射的有效剂量为 D ,则 D 可由公式(2)计算得出:

$$D = \int_0^t \dot{D}_0 e^{-\lambda t} dt \quad (2)$$

公式(2)中, D 为有效剂量(μSv); t 为受照时间(h); \dot{D}_0 为初始空气吸收剂量率($\mu\text{Gy/h}$); λ 为核素 ^{68}Ga 的衰变常数。

放射性核素在显像患者体内的有效半衰期可由公式(3)计算得出:

$$T_{\text{eff}} = (T_{1/2} \times T_b) / (T_{1/2} + T_b) \quad (3)$$

公式(3)中, T_{eff} 为有效半衰期(min), $T_{1/2}$ 为物理半衰期(min), T_b 为生物半衰期(min)。 ^{68}Ga 为短半衰期核素, ^{68}Ga -奥曲肽的物理半衰期较其在人体内的生物半衰期短,因此其有效半衰期近似等于物理半衰期, $T_{\text{eff}} = T_{1/2} = 67.83\text{ min}$ ^[8]。

根据公式(2), ^{68}Ga -奥曲肽PET/CT显像患者接触的周围人群中某一个体受照的有效剂量有一最大值 D_{max} , D/D_{max} 为某个时间段的有效剂量与最大有效剂量的比值,受照时间分别为 $1T_{1/2}$ 、 $2T_{1/2}$ 、 $3T_{1/2}$ 、 $4T_{1/2}$ 、 $5T_{1/2}$ 、 $6T_{1/2}$ 、 $7T_{1/2}$ 时, D/D_{max} 的值分别为0.050、0.750、0.875、0.938、0.969、

0.985、0.992,可以看出周围人群受照的有效剂量在7个 $T_{1/2}$ (约8 h)后达到最大值。

1.5 接触模式

周围人群受照的有效剂量在7个 $T_{1/2}$ (约8 h)后达到最大值,因此 ^{68}Ga -奥曲肽PET/CT显像患者与周围人群的最长接触时间按8 h计算,短于8 h的按实际接触时间计算。患者从注射药物到完成检查离开医院需要1.5 h左右,本研究中所述出院患者即为注射药物后1.5 h离开医院,假设患者离开医院后开始与公众人群接触。美国国家辐射防护和测量委员会(NCRP)第155号报告定义了以下3类患者与周围人群的接触模式:(1)夜间同床共睡的家庭成员,接触距离为0.3 m,每天接触8 h;(2)白天接触的家庭成员,接触距离为1.0 m,每天接触6 h;(3)单位同事,接触距离为1.0 m,每天接触8 h^[9]。同车邻座乘客与患者的接触模式是一次性的,假定接触距离为0.3 m,接触时间最长约为3 h。某些特殊的重症患者需要护士在显像前1 h内进行陪护,接触距离为1.0 m,此类患者显像结束后回到重症病房有仪器支持,护士不需长时间陪护,本研究只计算显像前1 h内护士的受照剂量。患者在注射药物1 h后进行显像,操作人员在指导患者体位摆放的过程中会受到辐射,假定接触距离为0.3 m,接触时间为5 min(0.08 h)。

2 结果

注射 ^{68}Ga -奥曲肽0 h后,距患者1.0 m处的空气吸收剂量率为12.97~33.67(20.24 ± 6.57) $\mu\text{Sv/h}$;注射1 h后,距患者0.3 m处的空气吸收剂量率为32.73~57.69(48.98 ± 6.20) $\mu\text{Sv/h}$ 。注射 ^{68}Ga -奥曲肽1.5 h后(即注射 ^{68}Ga -奥曲肽的患者出院时),距患者不同距离处空气吸收剂量率的测量结果见表1。

表1 ^{68}Ga -奥曲肽PET/CT显像患者出院时不同距离处的空气吸收剂量率($\mu\text{Sv/h}$)

Table 1 Air absorbed dose rate at different distances at discharge in patients with ^{68}Ga -Octreotide PET/CT imaging ($\mu\text{Sv/h}$)

距离(m)	均值	范围
0.3	35.98±4.56	24.04~42.39
0.5	20.70±4.55	11.83~28.83
1.0	8.07±2.61	5.17~13.42
1.5	3.75±1.72	1.51~7.01

注:PET为正电子发射断层显像术;CT为计算机断层摄影术

根据患者注射 ^{68}Ga -奥曲肽后不同时间和出院时不同距离处的空气吸收剂量率,通过计算得到注射 ^{68}Ga -奥曲肽的患者对公众及医护人员产生的有效剂量(表2)。

表2 ^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 显像患者对公众及医护人员产生的照射剂量(μSv)

Table 2 Radiation dose of ^{68}Ga -Octreotide PET/CT imaging patients exposed to the public and medical staff (μSv)

周围人群	均值	范围
陪护护士	15.13±4.90	9.70~25.17
操作人员	3.98±0.50	2.66~4.69
白天接触家庭成员	12.83±4.15	8.22~21.33
夜间同睡家庭成员	58.25±7.38	38.92~68.62
单位同事	13.06±4.23	8.37~21.73
邻座乘客	49.36±6.26	32.97~58.15

注: PET为正电子发射断层显像术; CT为计算机体层摄影术

3 讨论

^{68}Ga -奥曲肽是医院核医学科常见的显像剂,其衰变产生的 γ 射线能量为511 keV,能量较高,因此需考虑辐射防护问题^[10-11]。 ^{68}Ga -奥曲肽在显像患者体内的代谢速率影响公众人群和核医学科医护人员的受照剂量, Velikyán 等^[12]曾对 ^{68}Ga -奥曲肽在 PET/CT 显像患者血液中的放射性活度进行检测,发现患者血液中的放射性活度在注射药物 195 min 后可降至峰值的 2.2%。目前还没有对 ^{68}Ga -奥曲肽显像患者对周围人群产生的外照射的研究,本研究实测了 ^{68}Ga -奥曲肽显像患者体外的空气吸收剂量率,并依据美国国家辐射防护和测量委员会(NCRP)提出的3类接触模式,结合 ^{68}Ga -奥曲肽在患者体内的代谢过程,估算了 ^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 显像患者对周围人群产生的有效剂量。结果显示,按照目前广泛推荐使用的注射活度为 2 MBq/kg 的用药方案, ^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 显像患者完成检查离开医院后,可以与家人正常接触和乘坐公共交通工具,周围人群受照的剂量远低于国家规定的剂量限值^[13]。

PET/CT 发展迅速,推动了医学影像技术的进步,可以提供更加精准的影像信息。同时,核医学的辐射防护问题也越来越受到人们的重视,核医学检查给患者带来的获益应始终大于放射性药物产生的辐射损伤。目前,更多的研究聚焦于长半衰期核素,如 ^{131}I 的辐射剂量与防护的研究^[14-15]。 ^{68}Ga 是

一种短半衰期核素,但 ^{68}Ga 衰变产生的 γ 射线能量较高,这也增加了医护人员和公众对 ^{68}Ga -奥曲肽安全性的关注,本研究的结果可以为相关人员提供参考。

患者在注射放射性药物后,进行 PET/CT 检查前,操作人员需要对患者进行辅助摆位,重症患者需要陪护护士跟随,他们与患者的接触距离较近,因此本研究估算了操作人员和陪护护士受照的有效剂量。本研究通过计算得出,每指导 1 例 ^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 显像患者摆位,操作人员受照的平均有效剂量为(3.98±0.50) μSv 。国家标准规定从事辐射相关职业人员的年平均有效剂量 $\leq 20 \text{ mSv}$ ^[13],则 1 名操作人员 1 年内接触 5 025 例 ^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 显像患者,受照剂量才可达到剂量限值。但部分核医学科操作人员还需要进行放射性药物的标记、分装和 PET/CT 等设备的质控,都会受到核素照射,因此其累加剂量仍需关注。陪护 1 例重症患者检查的护士受照的平均有效剂量为(15.13±4.90) μSv 。

核医学科在制定 PET/CT 检查的防护方案时,不仅要保证公众及医护人员受到的有效剂量不超过国家标准规定的限值,还要尽可能减小对就诊患者正常生活的影响。在核医学科的日常工作中,应对注射放射性药物后等待显像的患者严格管理,禁止患者随意走动,避免在某个小空间内引起辐射的叠加效应,从而增加医护人员和公众的受照剂量。当患者家庭中有孕妇、儿童时,应尽可能减少患者与他们接触的时间,增大他们与患者的距离。本研究采用的计算方法估算的 ^{68}Ga -奥曲肽 PET/CT 显像患者对周围人群造成的有效剂量比实际值大,周围人群在患者注射 ^{68}Ga -奥曲肽后与其短时间接触所受有效剂量低于国家标准规定的限值,不必过于恐慌。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 潘永祥负责研究方案的设计与执行、数据的整理、论文的撰写;王风负责实验的指导、论文的修改;丁立新负责论文的修改;杨志负责命题的设计、论文的修改

参 考 文 献

- [1] Teles P, Trincão M, Alves F, et al. Evaluation of the Portuguese population exposure to ionizing radiation due to X-ray and

- nuclear medicine procedures from 2013 to 2017[J]. *Radiat Phys Chem*, 2020, 172: 108762. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2020.108762.
- [2] 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/igaa010.
- [3] Prior JO, Mirzaei S, Gnesin S, et al. Dose optimization in pediatric studies: why it is important and how it can benefit every nuclear medicine department[J]. *J Nucl Med*, 2021, 62(4): 568–569. DOI: 10.2967/jnumed.120.254193.
- [4] Abualroos NJ, Amin NAB, Zainon R. Conventional and new lead-free radiation shielding materials for radiation protection in nuclear medicine: a review[J]. *Radiat Phys Chem*, 2019, 165: 108439. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2019.108439.
- [5] Verdecia PO, Rodríguez LG, Águila RAS, et al. ⁶⁸Ga activity calibrations for nuclear medicine applications in Cuba[J]. *Appl Radiat Isot*, 2018, 134: 112–116. DOI: 10.1016/j.apradiso.2017.11.010.
- [6] Bodei L, Ambrosini V, Herrmann K, et al. Current concepts in ⁶⁸Ga-DOTATATE imaging of neuroendocrine neoplasms: interpretation, biodistribution, dosimetry, and molecular strategies[J]. *J Nucl Med*, 2017, 58(11): 1718–1726. DOI: 10.2967/jnumed.116.186361.
- [7] Mountford PJ. Estimation of close contact doses to young infants from surface dose rates on radioactive adults[J]. *Nucl Med Commun*, 1987, 8(11): 857–863. DOI: 10.1097/00006231-198711000-00002.
- [8] Alves F, Alves VH, Neves ACB, et al. Cyclotron production of Ga-68 for human use from liquid targets: from theory to practice[J]. *AIP Conf Proc*, 2017, 1845(1): 1–9. DOI: 10.1063/1.4983532.
- [9] National Council on Radiation Protection and Measurements. Report No.155-management of radionuclide therapy patients (2006)[R]. Bethesda: National Council on Radiation Protection and Measurements, 2006.
- [10] Ambrosini V, Morigi JJ, Nanni C, et al. Current status of PET imaging of neuroendocrine tumours ([¹⁸F]FDOPA, [⁶⁸Ga]tracers, [¹¹C]/[¹⁸F]-HTP)[J]. *Q J Nucl Med Mol Imaging*, 2015, 59(1): 58–69.
- [11] Shell J, Tirosh A, Millo C, et al. The utility of ⁶⁸Gallium-DOTATATE PET/CT in the detection of von Hippel-Lindau disease associated tumors[J]. *Eur J Radiol*, 2019, 112: 130–135. DOI: 10.1016/j.ejrad.2018.11.023.
- [12] Velikyan I, Sundin A, Sörensen J, et al. Quantitative and qualitative intrapatient comparison of ⁶⁸Ga-DOTATOC and ⁶⁸Ga-DOTATATE: net uptake rate for accurate quantification[J]. *J Nucl Med*, 2014, 55(2): 204–210. DOI: 10.2967/jnumed.113.126177.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Jin PY, 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.

(收稿日期: 2022-02-15)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

关于投稿中化学元素与核素符号的书写要求

1. 化学元素符号应当用罗马(正)体书写, 首字母大写, 在符号后不加圆点。
2. 核素的核子数(质量数)标注在元素符号的左上角。例如: ¹⁴C, ⁶⁰Co, 不写成¹⁴氮或N¹⁴, ⁶⁰钴或Co⁶⁰。
3. 分子中核素的原子数标注在核素符号的右下角。例如: ¹⁴N₂。
4. 质子数(原子序数)标注在元素符号的左下角。例如: ₈₂Pb, ₂₆Fe。
5. 离子价和表明阴、阳离子的符号“+”或“-”标注于元素符号的右上角, 离子价数写在符号前。例如: 正2价的镁离子, 应写成Mg²⁺, 不宜写成Mg⁺⁺。
6. 激发态标注在元素符号的右上角。例如: ^{99m}Tc^m, 不写成^{99m}锝、Tc^{99m}或^{99m}Tc。

本刊编辑部