

¹³¹I治疗分化型甲状腺癌术后患者体内剂量测定方法的临床应用进展

Advances in clinical application of residual radioactivity measurement method in patients with differentiated thyroid cancer surgery after ¹³¹I treatment

Chong Weixia, Fu Wei

引用本文:

崇维霞, 付巍. ¹³¹I治疗分化型甲状腺癌术后患者体内剂量测定方法的临床应用进展[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2022, 46(1): 42–46. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381–202105005–00131

Chong Weixia, Fu Wei. Advances in clinical application of residual radioactivity measurement method in patients with differentiated thyroid cancer surgery after ¹³¹I treatment[J]. *International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine*, 2022, 46(1): 42–46. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381–202105005–00131

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381–202105005–00131>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

¹³¹I治疗分化型甲状腺癌患者体内残留辐射剂量及病房辐射剂量的监测分析

Radiation monitoring in patients with differentiated thyroid carcinoma treated with iodine-131 and their wards
国际放射医学核医学杂志. 2019, 43(5): 400–404 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673–4114.2019.05.003>

分化型甲状腺癌术后¹³¹I治疗及诊断性显像前提高TSH水平的方案及其影响

Methods for improving TSH level and their effect in postoperative patients with differentiated thyroid cancer
国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(1): 59–64 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673–4114.2020.01.012>

¹³¹I治疗分化型甲状腺癌颈部摄碘组织的吸收剂量与疗效分析

Prognostic values of the cervical lesions absorbed dose in the radioactive iodine treatment of differentiated thyroid carcinoma
国际放射医学核医学杂志. 2019, 43(5): 405–410 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673–4114.2019.05.004>

分化型甲状腺癌患者¹³¹I治疗后诊断性全身显像周围剂量当量率动态变化的研究

Study on the dynamic change in ambient dose equivalent rate in patients with differentiated thyroid carcinoma receiving diagnostic whole-body scan after ¹³¹I therapy
国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(4): 212–216 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381–201907038–00023>

基层医院分化型甲状腺癌¹³¹I规范化诊疗的临床体会

Clinical experience of ¹³¹I standard diagnosis and treatment of differentiated thyroid carcinoma in basic hospital
国际放射医学核医学杂志. 2019, 43(5): 432–436 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673–4114.2019.05.009>

分化型甲状腺癌的治疗进展

Advances in the treatment of differentiated thyroid cancer

国际放射医学核医学杂志. 2017, 41(2): 126–131 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673–4114.2017.02.009>

·综述·

¹³¹I 治疗分化型甲状腺癌术后患者体内剂量测定方法的临床应用进展

崇维霞 付巍

桂林医学院附属医院核医学科, 桂林 541001

通信作者: 付巍, Email: 13977385850@126.com

【摘要】 根据分化型甲状腺癌(DTC)患者术后不同危险度分层结果, 部分患者可能需要进一步行¹³¹I治疗, 但¹³¹I可对周围人群产生辐射, 因此正确评估患者体内的辐射剂量, 对辐射防护个体化及¹³¹I治疗流程的优化至关重要。DTC患者术后¹³¹I治疗期间辐射剂量的测量方法主要分为体内和体外测量两大类, 体外测量包括尿液测量法和血液剂量测定法; 体内测量主要包括局部测量法和全身测量法, 笔者就辐射剂量相关测定方法及其临床应用进行综述。

【关键词】 碘放射性同位素; 分化型甲状腺癌; 体内测量法; 体外测量法

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202105005-00131](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202105005-00131)

Advances in clinical application of residual radioactivity measurement method in patients with differentiated thyroid cancer surgery after ¹³¹I treatment

Chong Weixia, Fu Wei

Department of Nuclear Medicine, the Affiliated Hospital of Guilin Medical College, Guilin 541001, China

Corresponding author: Fu Wei, Email: 13977385850@126.com

【Abstract】 According to different risk stratification results of differentiated thyroid cancer (DTC) patients after surgery, some patients may need further ¹³¹I treatment, but ¹³¹I can emit radiation to the surrounding population. Therefore, the correct assessment of radiation dose in patients is crucial to the individualization of radiation protection and the optimization of ¹³¹I treatment process. For the measurement method of radiation dose during ¹³¹I treatment after DTC, there are mainly two types, which are *in vivo* and *in vitro*. *In vitro* measurements include urine and blood measurement methods; *in vivo* measurements mainly include local and systemic measurement methods. The authors mainly discuss dose-related measurement methods and clinical application.

【Key words】 Iodine radioisotopes; Differentiated thyroid carcinoma; Local measurement methods; Systemic measurement methods

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202105005-00131](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202105005-00131)

甲状腺癌是内分泌系统最常见的恶性肿瘤之一, 其中分化型甲状腺癌(differentiated thyroid cancer, DTC)是甲状腺癌中最常见的组织病理学类型, 占有甲状腺癌的80%以上^[1]。美国甲状腺协会(American Thyroid Association, ATA)的DTC管理指南提示, 中危患者应行¹³¹I辅助治疗, 高危患者应常规行¹³¹I辅助治疗^[2]。DTC患者行¹³¹I治疗的剂量较高, 需住院隔离观察, 测量患者体内残留的辐射剂量, 评估患者的出院时间及病灶的¹³¹I摄取情况^[3]。我国规定, 接受¹³¹I治疗的患者体内的放射性活度降至400 MBq

(约10.8 mCi)方可出院^[4]。因此, ¹³¹I治疗后对患者进行体内残余辐射剂量的监测与评估尤为重要。

DTC患者术后¹³¹I治疗期间体内辐射剂量的测量方法主要包括体外测量和体内测量两大类, 体外测量包括尿液测量法和血液剂量测定法; 体内测量主要包括局部测量法和全身测量法^[5]。正确评估患者体内辐射剂量的分布、病灶的吸收剂量和全身的有效剂量, 提高剂量测量的准确性, 评估患者体内残留辐射的代谢趋势, 对于实现辐射防护个体化, 满足临床诊疗的需求至关重要。本文对体内和体外测

量法及其相关临床应用进行综述,旨在为 DTC 患者术后¹³¹I 治疗中体内剂量学的研究发展提供理论指导。

1 体外测量法

1.1 尿液测量法

DTC 患者行¹³¹I 治疗后,残余的甲状腺组织及其转移灶可摄取部分¹³¹I,并在数天内排出体外,约 90% 未吸收的¹³¹I 通过尿液排出,少量通过唾液、汗液和粪便排出^[6]。测量尿液的放射性活度可以帮助医师了解尿液的排泄信息和患者体内残留的¹³¹I 放射性活度。Phakdee 等^[7]使用伽马能谱分析系统测量了 90 例 DTC 患者尿液的放射性活度,结果表明,患者尿液中¹³¹I 的平均放射性活性为(2.40±0.78) Bq/d,尿液放射性活度的测量结果可用于比较和评估人体内的放射性活度。汤敏敏等^[8]和 Zhang 等^[9]分别对 35 例和 70 例 DTC 患者术后¹³¹I 治疗后不同时间点尿液中的放射性活度进行测量,结果发现,日尿排泄¹³¹I 值可用于估算甲状腺癌患者体内残留的¹³¹I 放射性活度,辅助医师估算患者的出院时间,提高病房的利用率^[8-9]。

尿液的测量易受到胃肠道、皮肤汗液、口腔分泌等因素的影响,导致测量结果不准确,存在一定的缺陷。此外,尿液测量的操作繁杂,增加了医务人员不必要的辐射,因而限制了其临床应用。

1.2 血液剂量测定法

在¹³¹I 治疗中,骨髓是对辐射最为敏感的器官。血液剂量测定法可评估 DTC 患者术后¹³¹I 治疗后体内残留的放射性活度,其目的是提高治疗的“安全性”,确定每位患者¹³¹I 的最大安全活性,减少¹³¹I 治疗后血液系统的并发症^[10]。

血液剂量测定法采用血液样本确定血液中¹³¹I 的放射性活度随时间变化的规律,以评估¹³¹I 治疗期间患者造血系统对辐射的吸收剂量,可通过对病灶和正常组织的剂量测定确定个体的最佳给药剂量^[11]。Piruzan 等^[12]对 23 例术后行不同剂量¹³¹I(3.70、4.62、5.55 GBq)治疗的 DTC 患者体内残留的放射性活度进行测量,结果发现,在给予患者¹³¹I 24~48 h 后,患者全身的¹³¹I 放射性活度与血液样本中的¹³¹I 放射性活度间存在显著相关性,可用于评估患者的辐射风险。Ruhlmann 等^[13]对¹³¹I 治疗前低剂量¹²⁴I 在 DTC 术后患者血液中的动力学变化和¹³¹I 治疗后患者血液中的¹³¹I 放射性活度变化进行观察,结果发现,通过患者血液中¹²⁴I 的放射性活度可准确预测¹³¹I 治疗后患者血液的放射性活度,可用于患者的个性化治疗。

Giostra 等^[14]对 50 例 DTC 术后患者¹³¹I 治疗前与治疗中的红骨髓和血液中的¹³¹I 放射性活度进行测定,结果显示,¹³¹I 治疗前对红骨髓中的¹³¹I 放射性活度进行评估可减少经验法治疗的限制,可使用更高剂量的¹³¹I 提高疗效,减少复发,

可用于 DTC 患者的个性化治疗。Kumar 等^[15]的研究结果也证明了上述观点。血液剂量测定法在“分次”治疗中可一次性给予患者较高的¹³¹I 治疗剂量,避免患者的肿瘤生物动力学特性在多次治疗后发生变化,从而减少对疗效的影响。

血液剂量测定法可测量患者血液的放射性活度,并在确保达到治疗效果的前提下不超过安全剂量,提高患者的总体生存率。血液剂量测定法需要在¹³¹I 治疗后多个时间节点进行测量,对患者的依从性要求较高,且为有创性检查,会对医护人员产生不必要的辐射。

2 体内测量法

2.1 局部测量法

局部测量法主要使用 X-γ 辐射测量仪,也称为实时辐射监测仪、数字式区域辐射监测仪,在距离患者 1 m 处测量患者的周围剂量当量率,从而估算体内放射性活度的变化,为出院时间提供参考。

靳平燕等^[16]对 DTC 患者术后行¹³¹I 治疗后 1 m 处的辐射剂量率进行测量,结果显示,首次行¹³¹I 治疗的患者和重复治疗患者的平均住院隔离时间分别为 3.5、2.5 d,并估算出患者在行¹³¹I 治疗 72 h 后可与公众间隔 1 m 正常接触。袁海娟等^[17]测量了 143 例 DTC 患者在¹³¹I 治疗后不同时间点与其距离 1 m 处的周围剂量当量率,并估算出患者体内放射性活度的变化情况,进而得出在¹³¹I 治疗 80 h 后绝大多数患者体内残留的放射性活度符合国家最低的出院标准。Mattar 等^[18]对 DTC 患者行 3 700~7 400 MBq ¹³¹I 治疗后,测量距离患者 1 m 处的周围剂量当量率,结果发现,患者衣服周围剂量当量率最高,其次是卫生间和病床,这可以为患者出院时的辐射防护提供理论指导。实时辐射监测仪因具有体积小、测量时间短等优势,广泛应用于临床,可用于评估患者的出院时间。但 1 m 的测量距离使其易受到外界环境的干扰,测量时需避开具有放射性的人体或物体。¹³¹I 在人体内的分布不均匀,而实时辐射监测仪测量的是剂量当量率,误差较大,同时其测量范围为 0~99.99 μSv/h,另外其在评估患者体内残余辐射剂量的代谢规律方面存在局限性。

2.2 全身测量法

目前,全身测量法的主要方式是全身显像,现有的放射性核素显像技术,如平面成像、SPECT/CT 和 PET/CT 显像,可根据病灶的放射性浓聚情况得到 DTC 患者¹³¹I 治疗后全身残留放射性活度的分布图。下面介绍平面成像和三维成像 2 种测定方法。

2.2.1 基于二维图像的剂量评估

通过 γ 相机可获得人体内放射性核素分布的平面图像。Thomas 等^[19]首先提出了传统的常规平面(CPlanar)成像方法,该方法通常需要在全身图像上绘制 ROI。Durski 等^[20]

研究发现,使用 Atkins 模型计算全身计数可以估测体内残留的放射性活度,在¹³¹I 治疗前 48 h 进行全身残留放射性活度扫描可简化剂量的测定。全身计数为 100 000~250 000 Kc 时,平面图像的质量较高,全身计数不足会影响图像的质量。季艳会等^[21]将 132 例 DTC 术后行¹³¹I 治疗的患者分为首次治疗组和复次治疗组,使用全身动态辐射监测系统测量不同时间点患者体内残留的放射性活度并分析其影响因素,结果发现,¹³¹I 治疗后 72 h 所有患者体内残留的放射性活度均<400 MBq,达到出院标准,并发现 DTC 患者的 T 分期和¹³¹I 的治疗剂量是患者体内残留的放射性活度的独立影响因素。

基于平面成像的定量分析在剂量测定的应用中有一定的局限性,因为该方法是二维的,部分数据在成像过程中易丢失,且图像中有器官-器官或器官-背景重叠现象。为了提高平面成像定量的精确度,研究者开发了多种方法,如定量平面(QPLanar)和扩展定量平面(EQPLanar)方法^[22-23]。定量平面方法(EQPlanar)可在全身显像的基础上结合 SPECT 的解剖断层信息,解决一部分器官重叠问题,从而将传统平面成像快速采集的优势与 SPECT 结合在一起。平面成像的采集时间短,计算量较小,在双 γ 相机上相对容易实现,因此,目前其仍是主流的剂量测量法。

2.2.2 基于三维图像的剂量评估

与二维图像的方法相比,三维成像技术定量分析(如 SPECT/CT 和 PET/CT)可改善图像的对比度和内脏器官的重叠问题,在体素水平上显示器官和肿瘤内的不均匀性,以提高量化的精确度^[24]。三维剂量分布可用等剂量线和剂量-体积直方图(DVH)进行放射生物学的评估,在 SPECT/CT 融合图像的基础上进行 SPECT 的重建和吸收剂量的计算。目前,计算吸收剂量的方法包括剂量点核法、S 值法和蒙特卡洛法等^[25-26]。

三维成像技术是通过 SPECT 结合解剖图像和高级剂量算法的软件计算实现的,这进一步提高了图像的精确度,可以辅助医师对患者进行个体化治疗^[27]。Konishi 等^[28]通过 SPECT/CT 后处理软件测量残留甲状腺¹³¹I 摄取量的 SUV 和绝对放射性浓度(kBq/ml),从而定量检测残留的甲状腺摄取¹³¹I 的放射性活度,帮助医师进行放射性活度的估算。但是,利用成像分析软件对甲状腺床¹³¹I 的摄取进行量化的可靠性还需要进一步的研究进行评估。

此外,¹²⁴I PET 也可用于 DTC 残留病灶剂量学的测定。Wierds 等^[29]回顾性分析了 40 例 DTC 患者术后行¹³¹I 治疗前和治疗后 24、96 h 的¹²⁴I PET/CT 图像,结果表明,在¹³¹I 治疗剂量 [(3.0±1.0) GBq] 不变的情况下,治疗前¹²⁴I PET/CT 可以预测¹³¹I 治疗后残余甲状腺和转移灶的治疗反应关系,从而帮助医师对患者进行精准管理。

与传统的平均吸收剂量的测量方法相比,基于体素的测量方法可以提供更准确、更完整的剂量信息。SPECT/CT 不仅可用于图像融合和定位,而且可应用在基于图像的放射性核素治疗病灶吸收剂量的估算和体内辐射剂量分布的评估。定量 SPECT 可在一定程度上提高器官吸收剂量估算的准确性^[30]。虽然蒙特卡洛法是当前吸收剂量计算的“金标准”,但基于三维成像和图像后处理提供的剂量测定计算量大,过多的计算成本和时间阻碍了其在临床中的应用^[31]。为解决蒙特卡洛法的局限性,有研究人员建议使用卷积神经网络(CNN)进行体素剂量预测,研究结果显示,其与蒙特卡洛法结果相近,误差为 1.07%^[32],但卷积神经网络(CNN)的计算时间明显更短。卷积神经网络(CNN)法需要专业的研究机构进行计算,对专业性要求较高,难以普及。

3 小结与展望

一项放射性核素治疗的联合指南指出,患者体内残留放射性活度的测定可以帮助医师评估患者的出院时间,有助于提高放射性核素治疗的效果^[33]。目前,¹³¹I 治疗期间患者体内残留放射性活度的测定仍有一定难度,有关尿液、血液、平面成像、SPECT/CT 等相关体内辐射学测量技术各有利弊。尿液测量法不仅增加医务人员的辐射损害,而且易受到胃肠道等相关因素的影响,往往导致测量结果不准确。血液测定法可测量患者血液中的放射性活度,确保在达到疗效的前提下不超过安全剂量,提高患者的总体生存率,但其具有创伤性,对患者依从性的要求较高,会增加医务人员的额外辐射。局部测量法凭借其体积小,测量时间短的优势被临床医师广泛应用,但其结果容易受到外界环境的干扰,且其测量范围有一定限度,在评估患者残余辐射的代谢规律方面存在局限性。平面成像测定法是二维的,可能因器官重叠导致显像结果受到影响,且部分数据在成像过程中易丢失,但因其采集时间短,计算量较小,在双 γ 相机上易实现,因此在临床上仍是主流的剂量测量方法。三维成像测定法基于体素水平,可以计算出某一器官具体的残留放射性活度,测量结果更为准确,但其图像后处理的计算量较大,阻碍了其在临床中的应用。无论使用哪一种剂量测量方法,都需在多个时间点进行测量,但最佳的测量时间点仍需进行深入研究。综上所述,已有许多关于 DTC 术后¹³¹I 治疗期间患者体内的残留放射性活度测定的研究,但还没有建立相关剂量测定方法的标准化方案,需进一步探讨更优的测量技术。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 崇维霞负责综述的撰写;付巍负责研究命题的提出与设计、综述的审阅

参 考 文 献

- [1] Ferlay J, Colombet M, Soerjomataram I, et al. Estimating the global cancer incidence and mortality in 2018: GLOBOCAN sources and methods[J]. *Int J Cancer*, 2019, 144(8): 1941–1953. DOI: 10.1002/ijc.31937.
- [2] Luster M, Aktolun C, Amendoeira I, et al. European perspective on 2015 American Thyroid Association Management Guidelines for adult patients with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer: proceedings of an interactive international symposium [J]. *Thyroid*, 2019, 29(1): 7–26. DOI: 10.1089/thy.2017.0129.
- [3] Tuttle RM, Ahuja S, Avram AM, et al. Controversies, consensus, and collaboration in the use of ^{131}I therapy in differentiated thyroid cancer: a joint statement from the American Thyroid Association, the European Association of Nuclear Medicine, the Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, and the European Thyroid Association[J]. *Thyroid*, 2019, 29(4): 461–470. DOI: 10.1089/thy.2018.0597.
- [4] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. WS 533–2017 临床核医学患者防护要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. WS 533–2017 Protection requirements for patients in clinical nuclear medicine[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [5] 郑传城, 华威, 王旭, 等. 放射性核素体内污染的两种检测方法比较[J]. *中国辐射卫生*, 2009, 18(1): 26–27. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2009.01.003.
- Zheng CC, Hua W, Wang X, et al. The comparison of two methods for monitoring internal contamination of radionuclides [J]. *Chin J Radiol Health*, 2009, 18(1): 26–27. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2009.01.003.
- [6] Paquet F, Bailey MR, Leggett RW, et al. ICRP publication 137: occupational intakes of radionuclides: part 3[J]. *Ann ICRP*, 2017, 46(3/4): 1–486. DOI: 10.1177/0146645317734963.
- [7] Phakdee N, Kessaratikoon P, Peekhantod D. Quantitative measurement of gamma activities of radionuclides (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{40}K) in human urine samples collected from residents in southern region of Thailand[J]. *Adv Mater Res*, 2013, 770: 104–107. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.770.104.
- [8] 汤敏敏, 刘建中, 武志芳, 等. 日尿排泄 ^{131}I 值估算甲状腺癌患者体内残留活度[J]. *中国医疗前沿*, 2013, 8(6): 8–9. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5552.2013.06.0004.
- Tang MM, Liu JZ, Wu ZF, et al. Estimation the daily urinary excretion ^{131}I radioactivity of thyroid cancer in patients with residual activity[J]. *Natl Med Front China*, 2013, 8(6): 8–9. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5552.2013.06.0004.
- [9] Zhang HY, Jiao L, Cui SY, et al. The study of external dose rate and retained body activity of patients receiving ^{131}I therapy for differentiated thyroid carcinoma[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2014, 11(10): 10991–11003. DOI: 10.3390/ijerph111010991.
- [10] Willegaignon J, Pelissoni RA, de Godoy Diniz Lima BC, et al. Estimating ^{131}I biokinetics and radiation doses to the red marrow and whole body in thyroid cancer patients: probe detection versus image quantification[J]. *Radiol Bras*, 2016, 49(3): 150–157. DOI: 10.1590/0100-3984.2015.0079.
- [11] Lassmann M, Hänscheid H, Chiesa C, et al. EANM Dosimetry Committee series on standard operational procedures for pre-therapeutic dosimetry I : blood and bone marrow dosimetry in differentiated thyroid cancer therapy[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2008, 35(7): 1405–1412. DOI: 10.1007/s00259-008-0761-x.
- [12] Piruzan E, Haghghatafshar M, Faghihi R, et al. Calculation of blood dose in patients treated with ^{131}I using MIRD, imaging, and blood sampling methods[J]. *Medicine*, 2016, 95(11): e3154. DOI: 10.1097/MD.0000000000003154.
- [13] Ruhlmann M, Sonnenschein W, Nagarajah J, et al. Pretherapeutic ^{124}I dosimetry reliably predicts intratherapeutic blood kinetics of ^{131}I in patients with differentiated thyroid carcinoma receiving high therapeutic activities[J]. *Nucl Med Commun*, 2018, 39(5): 457–464. DOI: 10.1097/MNM.0000000000000817.
- [14] Giostra A, Richetta E, Pasquino M, et al. Red marrow and blood dosimetry in ^{131}I treatment of metastatic thyroid carcinoma: pre-treatment versus in-therapy results[J]. *Phys Med Biol*, 2016, 61(11): 4316–4326. DOI: 10.1088/0031-9155/61/11/4316.
- [15] Kumar P, Damle NA, Agarwala S, et al. Individualized dosimetry in children and young adults with differentiated thyroid cancer undergoing iodine-131 therapy[J]. *J Pediatr Endocrinol Metab*, 2020, 33(8): 1031–1044. DOI: 10.1515/jpem-2020-0072.
- [16] 靳平燕, 欧阳伟, 冯会娟, 等. ^{131}I 治疗分化型甲状腺癌患者的辐射剂量率研究[J]. *广东医学*, 2016, 37(3): 386–388. DOI: 10.13820/j.cnki.gdyx.2016.03.016.
- Jin PY, Ouyang W, Feng HJ, et al. Radiation dose rate study of ^{131}I for patients with differentiated thyroid cancer[J]. *Guangdong Med*, 2016, 37(3): 386–388. DOI: 10.13820/j.cnki.gdyx.2016.03.016.
- [17] 袁海娟, 林主戈, 吴春兴, 等. ^{131}I 治疗分化型甲状腺癌患者体内残留辐射剂量及病房辐射剂量的监测分析[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2019, 43(5): 400–404. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.05.003.
- Yuan HJ, Lin ZG, Wu CX, et al. Radiation monitoring in patients with differentiated thyroid carcinoma treated with iodine-131 and their wards[J]. *Int J Rad Med Nucl Med*, 2019, 43(5): 400–404. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.05.003.
- [18] Mattar E, Salih MA, Alsafi K, et al. Radiation protection in the release of patients receiving ^{131}I treatment[J]. *Radiat Prot Dosimetry*, 2019, 187(4): 499–508. DOI: 10.1093/rpd/ncz190.
- [19] Thomas SR, Maxon HR, Kereiakes JG. *In vivo* quantitation of lesion radioactivity using external counting methods[J]. *Med Phys*, 1976, 3(4): 253–255. DOI: 10.1118/1.594287.

- [20] Durski JM, Hruska CB, Bogsrud TV, et al. ^{123}I scan with whole-body retention measurement at 48 hours for simplified dosimetry before ^{131}I treatment of metastatic thyroid cancer[J]. *Clin Nucl Med*, 2021, 46(3): e151–e153. DOI: [10.1097/RLU.00000000000003464](https://doi.org/10.1097/RLU.00000000000003464).
- [21] 季艳会, 郑薇, 谭建, 等. 分化型甲状腺癌患者 ^{131}I 治疗后体内放射性残留活度变化趋势及影响因素分析[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2020, 40(12): 721–725. DOI: [10.3760/cma.j.cn321828-20191016-00224](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn321828-20191016-00224).
Ji YH, Zheng W, Tan J, et al. Residual radioactivity and its influencing factors in patients with differentiated thyroid carcinoma after ^{131}I therapy[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2020, 40(12): 721–725. DOI: [10.3760/cma.j.cn321828-20191016-00224](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn321828-20191016-00224).
- [22] Belli ML, Mezzenga E, Di Iorio V, et al. A whole body dosimetry protocol for Peptide-Receptor Radionuclide Therapy (PRRT): 2D planar image and hybrid 2D+3D SPECT/CT image methods[J/OL]. *J Vis Exp*, 2020, (158): e60477[2021-05-07]. <https://www.jove.com/cn/t/60477/a-whole-body-dosimetry-protocol-for-peptide-receptor-radionuclide>. DOI: [10.3791/60477](https://doi.org/10.3791/60477).
- [23] Violet J, Jackson P, Ferdinandus J, et al. Dosimetry of ^{177}Lu -PSMA-617 in metastatic castration-resistant prostate cancer: correlations between pretherapeutic imaging and whole-body tumor dosimetry with treatment outcomes[J]. *J Nucl Med*, 2019, 60(4): 517–523. DOI: [10.2967/jnumed.118.219352](https://doi.org/10.2967/jnumed.118.219352).
- [24] Xiao Y, Roncali E, Hobbs R, et al. Toward individualized voxel-level dosimetry for radiopharmaceutical therapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2021, 109(4): 902–904. DOI: [10.1016/j.ijrobp.2020.08.026](https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2020.08.026).
- [25] Morphis M, van Staden JA, du Raan H, et al. Validation of a SIMIND Monte Carlo Modelled gamma camera for iodine-123 and iodine-131 imaging[J/OL]. *Heliyon*, 2021, 7(6): e07196 [2022-01-20]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021012998>. DOI: [10.1016/j.heliyon.2021.e07196](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07196).
- [26] Li TT, Wu NY, Song N, et al. Evaluation of sequential SPECT and CT for targeted radionuclide therapy dosimetry[J]. *Ann Nucl Med*, 2018, 32(1): 34–43. DOI: [10.1007/s12149-017-1218-8](https://doi.org/10.1007/s12149-017-1218-8).
- [27] Jiang LS, Xiang YZ, Huang R, et al. Clinical applications of single-photon emission computed tomography/computed tomography in post-ablation ^{131}I iodine scintigraphy in children and young adults with differentiated thyroid carcinoma[J]. *Pediatr Radiol*, 2021, 51(9): 1724–1731. DOI: [10.1007/s00247-021-05039-2](https://doi.org/10.1007/s00247-021-05039-2).
- [28] Konishi K, Ishiba R, Ikenohira T, et al. The relationship between the quantitative evaluation of thyroid bed uptake and the disappearance of accumulation in adjuvant radioactive iodine therapy for differentiated thyroid cancer[J]. *Ann Nucl Med*, 2021, 35(2): 159–166. DOI: [10.1007/s12149-020-01546-8](https://doi.org/10.1007/s12149-020-01546-8).
- [29] Wierts R, Brans B, Havekes B, et al. Dose-response relationship in differentiated thyroid cancer patients undergoing radioiodine treatment assessed by means of ^{124}I PET/CT[J]. *J Nucl Med*, 2016, 57(7): 1027–1032. DOI: [10.2967/jnumed.115.168799](https://doi.org/10.2967/jnumed.115.168799).
- [30] Lee MS, Hwang D, Kim JH, et al. Deep-dose: a voxel dose estimation method using deep convolutional neural network for personalized internal dosimetry[J/OL]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 10308[2021-05-07]. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-46620-y>. DOI: [10.1038/s41598-019-46620-y](https://doi.org/10.1038/s41598-019-46620-y).
- [31] Lee JS, Kovalski G, Sharir T, et al. Advances in imaging instrumentation for nuclear cardiology[J]. *J Nucl Cardiol*, 2019, 26(2): 543–556. DOI: [10.1007/s12350-017-0979-8](https://doi.org/10.1007/s12350-017-0979-8).
- [32] Akhavanallaf A, Shiri I, Arabi H, et al. Whole-body voxel-based internal dosimetry using deep learning[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48(3): 670–682. DOI: [10.1007/s00259-020-05013-4](https://doi.org/10.1007/s00259-020-05013-4).
- [33] Zaknun JJ, Bodei L, Mueller-Brand J, et al. The joint IAEA, EANM, and SNMMI practical guidance on peptide receptor radionuclide therapy (PRRT) in neuroendocrine tumours[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2013, 40(5): 800–816. DOI: [10.1007/s00259-012-2330-6](https://doi.org/10.1007/s00259-012-2330-6).

(收稿日期: 2021-05-08)

· 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. 化学元素符号应与罗马(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: ^{14}C , ^{60}Co , 不写成 14 氮或 N^{14} , 60 钴或 Co^{60} 。
3. 分子中核素的原子数标注在核素符号的右下角。例如: $^{14}\text{N}_2$ 。
4. 质子数(原子序数)标注在元素符号的左下角。例如: $_{82}\text{Pb}$, $_{26}\text{Fe}$ 。
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 Mg^{2+} , 不宜写成 Mg^{++} 。
6. 激发态标注在元素符号的右上角。例如: $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 不写成 $^{99\text{m}}$ 锝、 $\text{Tc}^{99\text{m}}$ 或 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。