

甲亢患者 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 甲状腺SPECT检查的 周围剂量当量率分析

胡隽, 刘浩, 施燕琴, 俞苏英, 窦超, 赵岚, 王菲菲, 董孟杰

浙江大学医学院附属第一医院核医学科, 浙江 杭州 310003

摘要: **目的** 了解甲状腺功能亢进症(甲亢)患者行 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 甲状腺SPECT检查的周围剂量当量率变化, 提供辐射防护指导建议。**方法** 选择某三级甲等医院行 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 甲状腺SPECT检查的甲亢患者为研究对象, 在注射 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 后的不同时间、与患者颈部水平不同距离处检测周围剂量当量率, 采用广义线性混合模型分析注药后时间、检测距离、甲状腺24 h摄碘率和甲状腺质量对周围剂量当量率的影响。**结果** 纳入100例甲亢患者, 其中男性24例, 女性76例; 年龄为(38.5±14.0)岁。广义线性混合模型有统计学意义($F=6\ 610.165$, $P<0.001$); 患者甲状腺质量、注药后时间、检测距离对周围剂量当量率的影响有统计学意义($F=57.967$ 、 $15\ 988.574$ 、 $11\ 200.645$, 均 $P<0.001$), 周围剂量当量率与患者甲状腺质量呈正相关, 与注药后时间、检测距离呈负相关。**结论** 甲亢患者 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 甲状腺SPECT检查的周围剂量当量率受患者的甲状腺质量、注射后时间和检测距离的影响, 推迟与患者接触的时间或与患者保持距离可以有效防护辐射。

关键词: 甲状腺功能亢进症; SPECT; 辐射防护; 剂量当量率

中图分类号: R581.1 文献标识码: A 文章编号: 2096-5087 (2023) 02-0152-03

Ambient dose equivalent in $^{99m}\text{TcO}_4^-$ single photon emission computed tomography of the thyroid among patients with hyperthyroidism

HU Jun, LIU Hao, SHI Yanqin, YU Suying, DOU Chao, ZHAO Lan, WANG Feifei, DONG Mengjie

Department of Nuclear Medicine, The First Affiliated Hospital of School of Medicine, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310003, China

Abstract: Objective To investigate the changes of ambient dose equivalent rate in $^{99m}\text{TcO}_4^-$ single photon emission computed tomography (SPECT) of the thyroid among patients with hyperthyroidism, so as to provide insights into radiation protection guidance. **Methods** Patients with hyperthyroidism who underwent $^{99m}\text{TcO}_4^-$ SPECT of the thyroid in a tertiary hospital were enrolled. The ambient dose equivalent rate was measured at different time points following $^{99m}\text{TcO}_4^-$ injection and at sites with different distances from patients' neck, and the effects of time post-injection, distance from patients' neck, 24-hour thyroidal radioiodine uptake and thyroid weight on the ambient dose equivalent rate were examined using a generalized linear mixed model. **Results** Totally 100 patients with hyperthyroidism were enrolled, including 24 men and 76 women and with a mean age of (38.5±14.0) years. The generalized linear mixed model was statistically significant ($F=6\ 610.165$, $P<0.001$), and patients' thyroid weight, time post-injection and distance from patients' neck significantly affected the ambient dose equivalent rate ($F=57.967$, $15\ 988.574$, $11\ 200.645$, all $P<0.001$), and the ambient dose equivalent rate positively correlated with patients' thyroid weight and negatively correlated with time post-injection and distance from patients' neck. **Conclusions** The ambient dose equivalent rate is affected by patients' thyroid weight, time post-injection and distance from patients' neck among patients with hyperthyroidism undergoing $^{99m}\text{TcO}_4^-$ SPECT of the thyroid. Delay in contact with patients or keeping distance from patients may be effective for radiation protection.

Keywords: hyperthyroidism; single photon emission computed tomography; radiation protection; dose equivalent rate

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2023.02.015

作者简介: 胡隽, 本科, 主管护师, 主要从事核医学护理和护理管理工作

通信作者: 董孟杰, E-mail: dmjzlf2016@zju.edu.cn

近年来, 甲状腺功能亢进症(甲亢)发病率仍居高不下^[1]。单光子发射计算机断层成像术(single-photon emission computed tomography, SPECT)是甲亢的重要辅助诊断技术, 对指导格雷夫斯甲亢优选治

疗方案和评估治疗效果具有重要的临床价值^[2]。甲状腺 SPECT 检查常用的放射性药物为高锝酸盐 ($^{99m}\text{TcO}_4^-$)，含有的放射性核素 ^{99m}Tc 可释放 γ 射线，能量为 140 keV，具有很强的穿透能力，半衰期为 6.02 h^[3]，因此该项检查进行时对周围环境及人员有一定的辐射影响，但目前国内外对其辐射影响的程度和防护措施尚无精确的指导性建议。核医学检查的辐射防护问题一直备受关注^[4-5]，大多数人对辐射存在恐惧心理。本研究分析甲亢患者静脉注射 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 后的周围剂量当量率的动态变化情况及影响因素，为评估潜在辐射风险提供数据支持，为相关辐射防护提供指导建议。

1 对象与方法

1.1 对象 选择 2019 年 5 月—2020 年 4 月某三级甲等医院核医学科行 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 甲状腺 SPECT 检查的甲亢患者为研究对象。纳入标准：(1) 确诊为格雷夫斯甲亢患者；(2) 知情同意；(3) 行 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 甲状腺 SPECT 检查；(4) 临床资料完整并完成甲状腺 24 h 摄碘率检查。排除标准：(1) 合并严重脏器疾病，不能配合完成 10 次剂量当量率检测；(2) 近 1 个月行其他核医学检查或治疗；(3) 做过甲状腺切除手术。

1.2 辐射剂量检测仪 检测仪器使用 Inspector Alert (IA-V2) 射线检测仪 (美国 Medcom 公司)，测量对象是 α 、 β 、 γ 和 X 射线。仪器由上海市计量测试技术研究院进行检定，检定周期为 1 年 (2019 年 4 月 8 日、2020 年 4 月 29 日均检定合格)。

1.3 辐射剂量当量率检测 按照操作规程^[6]，甲亢患者经静脉注射 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ (原子高科股份有限公司生产) 185 MBq (5 mCi)，分别于注射后 0.5、1、2、3、6、12、24、30、36、48 h，在距离患者颈部水平 0、0.5、1、1.5、2 m 处检测辐射剂量当量率。测量前先按照 GBZ 120—2020《核医学放射防护要求》^[3] 附录 J.3.2 检测所在环境的本底水平。剂量当量率检测方法：关闭所有通信设备，将检测仪固定在需要检测的距离点，待仪器开机读数稳定后取 1 min 内仪器上显示的最大数值。检测的剂量当量率减去同一时间环境本底值得到周围剂量当量率^[7]。分析注药后时间、检测距离、甲状腺 24 h 摄碘率和甲状腺质量对患者 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 甲状腺 SPECT 检查周围剂量当量率的影响。

1.4 统计分析 采用 SPSS 26.0 软件统计分析。定量资料均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 描述，周围剂量当量率经对数转换后采用广义线性混合模型分析影响因素。

检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 基本情况 纳入 100 例甲亢患者，其中男性 24 例，女性 76 例；年龄为 (38.5 ± 14.0) 岁；甲状腺质量为 (37.9 ± 24.0) g；甲状腺 24 h 摄碘率为 (83.2 ± 11.4) %。

2.2 甲亢患者 SPECT 检查周围剂量当量率及影响因素分析 甲亢患者 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 甲状腺 SPECT 检查在不同注药后时间、检测距离的周围剂量当量率见表 1，周围剂量当量率随注药后时间、检测距离的增加呈下降趋势。广义线性混合模型分析结果显示：模型有统计学意义 ($F=6\ 610.165$, $P<0.001$)；甲亢患者的甲状腺 24 h 摄碘率对周围剂量当量率的影响无统计学意义 ($F=2.058$, $P=0.151$)；患者的甲状腺质量、注药后时间、检测距离对周围剂量当量率的影响有统计学意义 ($F=57.967$ 、 $15\ 988.574$ 、 $11\ 200.645$ ，均 $P<0.001$)；周围剂量当量率与患者的甲状腺质量呈正相关，与注药后时间、检测距离呈负相关。见表 2。

3 讨论

研究结果显示，甲亢患者 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 甲状腺 SPECT 检查的周围剂量当量率受患者的甲状腺质量、注药后时间和检测距离的影响，患者的甲状腺质量越大，周围剂量当量率越大；随着注药后时间和检测距离增加，周围剂量当量率减少。因此，推迟与患者接触的时间或与患者保持一定的距离是最简单有效的防护措施。而对于甲状腺质量较大的患者，可以与之保持更远的距离，避免更多的额外辐射。此外，在距患者 0~0.5 m，周围剂量当量率减少趋势相对明显，提示距患者 0.5 m 以上，可避免大部分的额外辐射。

国际放射防护委员会 (ICRP) 第 103 号出版物^[8] 建议，公众个人的年剂量当量限值 ≤ 1 mSv。GB 16361—2012《临床核医学的患者防护与质量控制规范》^[9] 规定：在患者诊断和治疗期间，探视者和家庭成员所受的年剂量当量限值 ≤ 5 mSv。本研究结果显示，患者注药后 0.5 h 距患者 0.5 m 的周围剂量当量率为 (15.634 ± 2.500) $\mu\text{Sv/h}$ ，按此估算，公众的累计辐射剂量要达到 1 mSv，需与注药后 0.5 h 的患者 0.5 m 内接触 64 h 以上，但一般情况下公众的社交距离超过 0.5 m，与患者接触时间也远少于 64 h。患者家属的累计辐射剂量要达到 5 mSv，需与注药后 0.5 h 的患者 0.5 m 内接触 320 h 以上，而临床上患者行甲状腺 SPECT 检查结束时已是注药后 0.5 h 以上，探视者和家庭成员与患者接触往往在检查结束后，而且

表 1 甲亢患者 ^{99m}TcO₄⁻甲状腺 SPECT 检查不同注药后时间、检测距离的周围剂量当量率 ($\bar{x}\pm s$, $\mu\text{Sv/h}$)

Table 1 Ambient dose equivalent rate at different time post-injection and distance from patients' neck after ^{99m}TcO₄⁻ SPECT of the thyroid among hyperthyroidism patients ($\bar{x}\pm s$, $\mu\text{Sv/h}$)

注药后时间/h	检测距离/m				
	0	0.5	1	1.5	2
0.5	409.201±238.579	15.634±2.500	5.785±0.618	3.019±0.370	1.816±0.251
1	393.673±237.438	15.336±3.028	5.533±0.715	2.821±0.357	1.744±0.224
2	261.646±175.611	9.007±2.510	3.630±0.748	1.994±0.384	1.217±0.225
3	207.474±130.359	7.968±2.403	3.178±0.671	1.719±0.346	1.057±0.216
6	118.900±80.293	4.996±1.522	2.026±0.429	1.113±0.242	0.694±0.133
12	49.566±35.228	2.002±0.579	0.839±0.205	0.461±0.110	0.299±0.075
24	10.350±8.617	0.374±0.154	0.162±0.063	0.103±0.047	0.059±0.034
30	4.508±3.488	0.176±0.080	0.084±0.045	0.058±0.040	0.041±0.035
36	2.414±1.612	0.095±0.057	0.065±0.040	0.046±0.043	0.030±0.039
48	1.052±0.487	0.052±0.040	0.046±0.036	0.045±0.040	0.029±0.036

表 2 广义线性混合模型固定效应的系数估计值及检验结果

Table 2 Coefficient estimates and test results of fixed effects of a generalized linear mixed model

影响因素	估计值	$s_{\bar{x}}$	t 值	P 值	95%CI
截距	3.962	0.111	35.640	<0.001	3.744 ~ 4.180
注药后时间	-0.116	0.001	-126.446	<0.001	-0.118 ~ -0.115
检测距离	-2.196	0.208	-105.833	<0.001	-2.237 ~ -2.156
24 h 摄碘率	0.002	0.001	1.435	0.151	-0.001 ~ 0.004
甲状腺质量	0.005	0.001	7.614	<0.001	0.004 ~ 0.006

患者周围的辐射水平会随时间增加而减少,注药后 30 h 距患者 0.5 m 的周围剂量当量率为 (0.176±0.080) $\mu\text{Sv/h}$,与本底水平相当。因此,公众及家属与行甲状腺 SPECT 检查的患者接触所受的辐射剂量不会超过国际、国内规定的年剂量限值,但从防护最优化的原则考虑,公众或家属可距患者 0.5 m 以上,以避免大部分的额外辐射。

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(2002 版)规定:从事辐射工作人员职业照射平均年剂量限值为 20 mSv^[10]。根据 MOUNTFORD^[11]提出的个人受照剂量估算方法,按工作人员每日工作 8 h,年工作日 250 d 计算,工作人员每小时可接收到辐射剂量限值为 0.01 mSv,即 10 μSv 。本研究显示:患者注药 \geq 30 h 距患者 0 m 处、注药 \geq 6 h 距患者 0.5 m 处和 \geq 0.5 h 距患者 1 m 处的周围剂量当量率均 $<$ 10 $\mu\text{Sv/h}$ 。假设工作人员在工作时间一直接触患者,建议患者注药后 6 h 内距患者 1 m 以上,6~30 h 距患者 0.5 m 以上,30 h 后无需防护;若在 6 h 内要对患者进行长时间、近距离操作,建议使用屏蔽防护措施。

参考文献

- [1] LI Y, TENG D, BA J, et al. Efficacy and safety of long-term universal salt iodization on thyroid disorders: epidemiological evidence from 31 provinces of mainland China [J]. *Thyroid*, 2020, 30 (4): 568-579.
- [2] 冯珏. Graves 甲状腺功能亢进症的正确诊断与规范化治疗 [J]. *临床荟萃*, 2016, 31 (3): 233-236.
- [3] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 核医学放射防护要求: GBZ 120—2020 [S]. 2020.
- [4] 郭佳娣, 郦依华, 俞顺飞, 等. 2011—2019 年浙江省 11 家省级医院放射工作人员外照射个人剂量监测结果分析 [J]. *预防医学*, 2021, 33 (9): 948-950.
- [5] 章群, 张丹丹, 王爱红, 等. 数字 X 线检查北仑区成人体表照射剂量参考值研究 [J]. *预防医学*, 2022, 34 (4): 400-403.
- [6] 李亚明, 王辉, 马婷, 等. 核医学护士工作手册 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015: 6-7.
- [7] 武含露, 闫志华, 李祥周, 等. 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 [J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2020, 44 (4): 212-216.
- [8] GRANLUND C, THILANDER-KLANG A, YLHAN B, et al. Absorbed organ and effective doses from digital intra-oral and panoramic radiography applying the ICRP 103 recommendations for effective dose estimations [J/OL]. *Br J Radiol*, 2016, 89 (1066) [2022-12-28]. <https://doi.org/10.1259/bjr.20151052>.
- [9] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 临床核医学的患者防护与质量控制规范: GB 16361—2012 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 电离辐射防护与辐射源安全基本标准: GB 18871—2002 [S]. 2002.
- [11] MOUNTFORD P J. Estimation of close contact doses to young infants from surface dose rates on radioactive adults [J]. *Nucl Med Commun*, 1987, 8 (11): 857-863.

收稿日期: 2022-10-19 修回日期: 2022-12-28 本文编辑: 徐文璐