

## 铅围脖在乳腺癌术后放疗中对甲状腺的保护作用

陈雪梅<sup>1,2</sup>, 姜晓勃<sup>2</sup>, 陈富强<sup>1</sup>, 吴佳蔚<sup>2</sup>, 蔡维洵<sup>2</sup>, 周美娟<sup>1</sup>

1. 南方医科大学公共卫生学院, 广东广州 510000;

2. 中山大学肿瘤防治中心放疗科, 广东广州 510000

**摘要:** **目的** 探讨不同类型的铅围脖在乳腺癌保乳术后放疗中对甲状腺的保护作用。**方法** 40例乳腺癌保乳术后放疗患者随机分为4组, 每组10例, 分别使用0 mm Pb(对照组), 0.5 mm Pb(普通材料组), 2 mm Pb(普通材料组), 2 mm Pb(新型防辐射材料组)铅围脖对甲状腺进行防护, 监测铅围脖内外剂量, 并进行统计学分析; 通过问卷调查, 获取对围脖接受程度等的结果, 并进行分析。**结果** 除佩戴0 mm Pb(对照组)患者的铅围脖内外散射量差异无统计学意义外, 0.5 mm Pb(普通材料组)、2 mm Pb(普通材料组)、2 mm Pb(新型防辐射材料组)差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ), 其中2 mm Pb(新型防辐射材料组)的散射量衰减均值33.64%明显优于其他各组( $P < 0.05$ )。4组患者放疗结束后佩戴铅围脖处的皮肤颜色及外观均无明显改变, 第一次复查甲状腺B超均正常, 在接受程度方面, 2 mm Pb新型防辐射材料铅围脖的可接受程度最高。**结论** 新型防辐射材料制成的铅围脖对甲状腺具有较好的保护作用, 易被患者接受, 建议推广使用。

**关键词:** 乳腺癌放疗; 保乳术; 铅围脖; 辐射防护

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2022)01-0001-05

## Protective effects of lead collars on the thyroid in radiotherapy after breast cancer surgery

CHEN Xuemei<sup>1,2</sup>, JIANG Xiaobo<sup>2</sup>, CHEN Fuqiang<sup>1</sup>, WU Jiawei<sup>2</sup>, CAI Weixun<sup>2</sup>, ZHOU Meijuan<sup>1</sup>

1. School of Public Health, Southern Medical University, Guangzhou 510000 China;

2. Department of Radiotherapy, Sun Yat-sen University Cancer Center, Guangzhou 510000 China

**Abstract:** **Objective** To investigate the protective effects of different types of lead collars on the thyroid during radiotherapy after breast-conserving surgery. **Methods** Forty breast cancer patients undergoing radiotherapy after breast-conserving surgery were randomly divided into four groups to wear different lead collars for thyroid protection: control group (0 mm Pb), common material group (0.5 mm Pb), common material group (2 mm Pb), and new radiation-shielding material group (2 mm Pb). Radiation doses inside and outside lead collars were monitored. A questionnaire survey was conducted to acquire information on patient acceptance of the lead collars. **Results** All the groups (except the control group) showed significant differences between scattered radiation doses inside and outside lead collars ( $P < 0.05$ ). The scattered radiation was attenuated by 33.64% on average in the 2-mm new material group, which was significantly higher than in the other groups ( $P < 0.05$ ). After radiotherapy, there was no significant change in the color and appearance of skin under lead collars in any group. All the patients were normal at the first thyroid ultrasound re-examination. The 2-mm new material lead collar was the most acceptable. **Conclusion** The lead collar made of the new radiation-shielding material has a good protective effect on the thyroid gland, and is easily accepted by patients, which can be promoted for application.

**Keywords:** Breast cancer radiotherapy; Breast-conserving surgery; Lead collar; Radiation protection

**Corresponding author:** ZHOU Meijuan, E-mail: 80758598@qq.com

乳腺癌作为在全球范围内发病率最高的癌症之一, 其治疗措施一直是研究热点。现有研究显示, 乳腺癌保乳术加上全乳根治性放疗, 可获得与根治术相当的长期局部控制率与生存率, 其5年生存率可高达97%<sup>[1]</sup>。在生存得到保障的情况下, 防范放疗并发

症成为保乳术后放疗的重要工作之一。

GB 18871—2002明确指出要对非照射敏感部位进行防护<sup>[2]</sup>。已有研究显示甲状腺在乳腺癌保乳术后放疗中极易受到散射线的作用, 甚至可引起甲状腺功能减退<sup>[3]</sup>。因此在术后放疗中, 应加强对甲状腺进行防护。

本研究尝试探讨一种新型防辐射材料(含铅复合新材)在乳腺癌术后放疗中对甲状腺的保护作用。

## 1 资料与方法

**1.1 病例选择** 选取2020年3月—2020年10月在中山大学肿瘤防治中心行乳腺癌保乳术后放疗的女性患者,共40例,放疗前所有患者均明确本研究,无放疗禁忌征。纳入标准:经病理检查或细胞学检查或影像学检查确诊为I-II乳腺癌;女性,年龄25~45岁;PS评分为0~2分;接受根治剂量的放疗(不少于50 Gy)。排除标准:既往或治疗时合并有其他恶性肿瘤;既往接受过乳腺癌放疗;锁骨上区有淋巴结转移的患者。本实验获得医院伦理委员会批准(B 2020-379-01)。

**1.2 实验仪器和设备** 瑞典医科达 Synergy 直线加速器(中山大学肿瘤防治中心);RGD-3B 热释光剂量测量仪、TLD 剂量片(广州南方医大医疗设备综合检测有限责任公司);0 mm Pb 铅围脖(自制);0.5 mm Pb 铅围脖(德国 MI 提供);2 mm Pb 铅围脖(普通材料)(烟台皓邦防护科技有限公司提供);2 mm Pb 铅围脖(新型防辐射材料)(江苏义倍医疗科技股份有限公司提供)。2 mm Pb 铅围脖(新型材料)的表面使用纳米级呼吸绒面料,内部使用可吸收射线的水凝胶,高密度铅复合型新材料挡片置于水凝胶内部,厚度约为2 mm,其内部材料如图1。

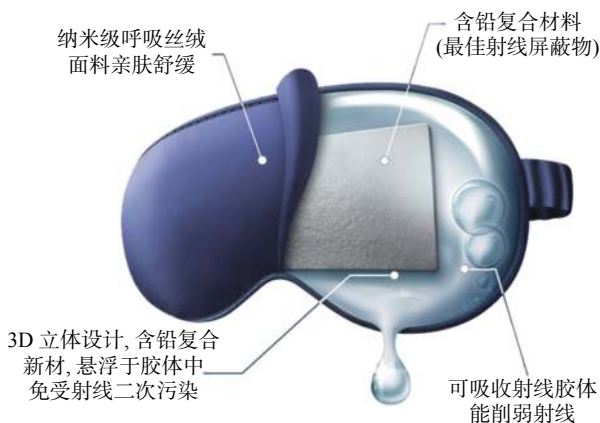


图1 新型防辐射材料的内部构造示意图

Figure 1 Schematic diagram of internal structure of the new radiation-shielding material

**1.3 放疗方法** 40例患者分别进行体位固定、CT模拟定位、治疗计划设计及复位验证后,至加速器机房进行放疗。处方剂量50 Gy, 2.0 Gy/次, 5次/周,乳房和胸壁均采用8 MV X射线切线野照射技术,颈部甲状腺区域不在照射野范围内,在不影响正常放疗的前提下佩戴铅围脖。

**1.4 甲状腺剂量的获取** 40例患者随机分为4组,每组10例,分别用0 mm Pb(对照组)、0.5 mm Pb(普通材料)、2 mm Pb(普通材料)及2 mm Pb(新型防辐射材料)的铅围脖在放疗过程中对患者甲状腺进行防护(后面分别简称为对照组、0.5 mm Pb组、2 mm Pb组、2 mm Pb新材料组)。操作程序如下:患者取仰卧位平躺于治疗床上,在甲状腺体表位置放置3枚TLD剂量片(标记为A<sub>内</sub>、B<sub>内</sub>、C<sub>内</sub>),然后放置铅围脖,在围脖表面对应位置再放置3枚TLD剂量片(标记为A<sub>外</sub>、B<sub>外</sub>、C<sub>外</sub>)。在治疗计划结束后,用RGD-3B热释光剂量测量仪测量各TLD剂量片的射线剂量。其中4组围脖的重量大小:2 mm Pb组 > 0.5 mm Pb组 > 2 mm Pb新材料组 > 对照组。

**1.5 患者主客指标获取** 预先设计调查问卷,在患者放疗结束后进行问卷调查的方式以获取相关信息,主要包括:1)患者情绪和情感的变化,如佩戴铅围脖是否有焦虑、烦躁不安或轻松、安心等。2)一般情况的改变,如体重减轻、食欲减退等。3)患者局部反应的情况,如整个放疗期间咽喉有无干咳肿痛等放射性反应的发生。4)局部变化情况,即整个放疗周期患者颈部皮肤的改变情况(是否有红肿、发痒等皮炎表现出现)。5)患者佩戴铅围脖的舒适度调查:包括重量、大小是否合适,材料是否贴合颈部皮肤等。6)患者的心理暗示调查,即佩戴铅围脖对甲状腺是否有保护作用。7)患者是否会在放疗前主动要求佩戴铅围脖等。8)甲状腺彩超的定期随访:在放疗结束后1~2个月进行第一次彩超检查,此后每半年进行一次彩超检查,随访5年。

**1.6 统计学方法** 使用SPSS 19.0软件进行统计分析。主客指标中的发生率比较采用 $\chi^2$ 检验,不同材料的铅围脖防护内外的散射量的比较采用配对资料的 $t$ 检验,不同材料铅围脖的衰减率的比较经方差齐性检验采用单因素方差分析,两两比较采用LSD法, $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 主客观观察指标

**2.1.1 主观观察指标** 患者紧张程度:佩戴铅围脖后,4组患者中0.5 mm Pb组(2例)、2 mm Pb组(2例)有紧张心慌感受;患者防护意识方面:4组患者中,对照组(9例)、0.5 mm Pb组(8例)、2 mm Pb组(9例)、2 mm Pb新材料组(9例)希望在放疗过程中能佩戴铅围脖保护甲状腺。97.5%的患者认为铅围脖对甲状腺具有保护作用。结果见图2。

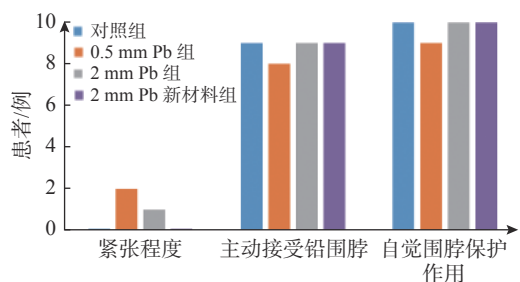


图2 患者对铅围脖的接受程度及使用的主观指标  
Figure 2 Subjective indicators of patient acceptance of lead collars

2.1.2 客观观察指标 皮肤外观表现方面: 4组患者颈部皮肤保持完整, 没有红肿、溃烂等放射性皮炎症状的发生。咽喉反应方面: 放疗2~3周后, 放射线损伤导致的咽喉疼痛、进食饮水有烧灼感等情况在4组患者自觉出现咽喉反应的情况分别是对照组5例、0.5 mm Pb组3例、2 mm Pb组2例、2 mm Pb新材料组1例。关于咽喉反应的主观因素调查结果显示, 大部分人认为佩戴铅围脖是没有出现咽喉反应的原因。体重减轻超过2 500 g的情况: 咽喉部位受到辐射损伤时, 可能会出现食管黏膜破损并引起咽喉疼痛等, 进一步导致患者食欲减退, 最终引起体重下降。4组患者中, 体重减轻超过2 500 g的发生情况为: 对照组2例、0.5 mm Pb组3例、2 mm Pb组1例、2 mm Pb新材料组1例。甲状腺外形: 放疗结束后半年复查甲状腺B超的4组患者的影像资料显示甲状腺外形均无异常。结果见图3。

2.1.3 围脖舒适度对比 铅围脖舒适度方面: 4组患者均表示材料贴合皮肤, 从接受程度、重量大小和舒适程度而言, 对照组和2 mm Pb新材料组全部患者均觉得铅围脖佩戴非常舒适, 明显高于0.5 mm Pb组( $P < 0.05$ )和2 mm Pb组( $P < 0.05$ )。结果见图4。

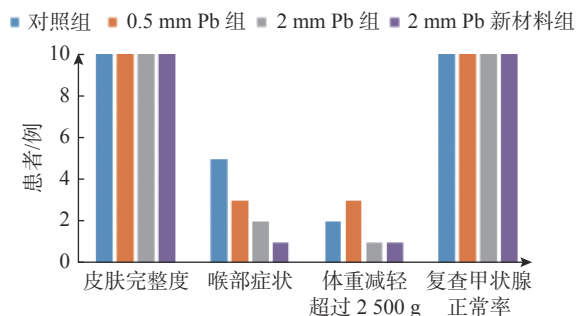


图3 患者客观症状

Figure 3 Objective symptoms of patients

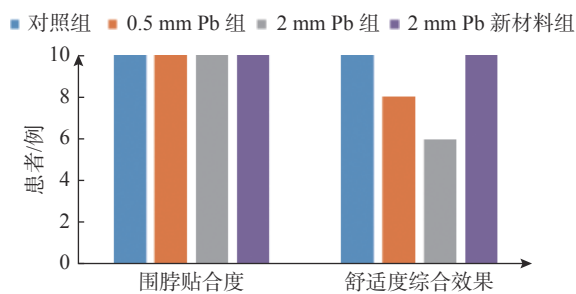


图4 围脖舒适度对比

Figure 4 Comparison of comfortableness of lead collars

2.2 患者患侧甲状腺皮肤表面散射剂量比较 0.5 mm Pb组、2 mm Pb组、2 mm Pb新材料组患者铅围脖外的散射剂量值都明显高于围脖内( $P < 0.05$ ), 防护有效。依据现行国家标准《X射线防护材料衰减性能的测定》(GBZ/T 147—2002)<sup>[4]</sup>, 铅围脖的防护效果比较由衰减比  $F = (K_0 - K_1)/K_0$  表示;  $K_0$  为铅围脖外剂量读数,  $K_1$  为铅围脖内剂量读数。其中, 2 mm Pb新材料组铅围脖的衰减比可达到  $(33.64 \pm 4.54)\%$ , 远远高于2 mm Pb组的  $(16.69 \pm 7.61)\%$  ( $P < 0.05$ )、0.5 mm Pb组的  $(14.79 \pm 4.40)\%$  ( $P < 0.05$ ) 和对照组的  $(6.61 \pm 4.48)\%$  ( $P < 0.05$ )。即新型材料比普通材料对甲状腺的保护作用效果更好。结果见表1、2。

表1 患者甲状腺部位铅围脖内外散射剂量比较 ( $n = 10$ , mSv)

Table 1 Comparison of scattered radiation doses inside and outside lead collars in the thyroid area of patients ( $n = 10$ , mSv)

防护材料内外	对照组	0.5 mm Pb组	2 mm Pb组	2 mm Pb新材料组
防护外/mSv	214.08 ± 37.77	193.01 ± 30.03	207.89 ± 32.20	219.95 ± 23.56
防护内/mSv	200.10 ± 40.22	164.19 ± 25.70	174.24 ± 26.24	145.48 ± 13.69
$t_{\text{相对}}$	0.801	8.703	6.016	14.470
$P$ 值	$P > 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$

### 3 讨论

甲状腺是辐射敏感器官, 也是乳腺癌保乳术后放疗过程中的关键组织器官, 已有研究证实, 乳腺癌患者较正常人群而言, 更有可能被诊断为甲状腺功能减

退症<sup>[5]</sup>。Nix等<sup>[6]</sup>明确电离辐射是导致甲状腺癌的主要因素之一; 应可明等<sup>[7]</sup>探讨分析介入放射医务人员放射性甲状腺疾病的临床病理资料, 发现甲状腺受照剂量越大, 受辐射时间越长, 甲状腺癌的发生率越高, 类似的结果也见于相似的研究中<sup>[8-9]</sup>; 熊雅玲

表2 不同防护材料衰减效果的两两比较 (mSv)

Table 2 Pairwise comparison of attenuation effects of different protective materials

组别	例数	衰减比(%)
对照组	10	6.61 ± 4.48
0.5 mm Pb组	10	14.79 ± 4.40 <sup>a</sup>
2 mm Pb组	10	16.69 ± 7.61 <sup>a</sup>
2 mm Pb新材料组	10	33.64 ± 4.54 <sup>abc</sup>
F 值		43.62
P 值		< 0.05

注:<sup>a</sup>与对照组比较, ( $t=13.40, 3.609, 4.113, P < 0.05$ ); <sup>b</sup>与0.5 mm Pb组比较, ( $t=9.430, P < 0.05$ ); <sup>c</sup>与2 mm Pb组比较, ( $t=6.047, P < 0.05$ )

等<sup>[10]</sup>对100例女性乳腺癌患者和同期100例健康女性进行甲状腺超声检查,结果发现乳腺癌组患者甲状腺的体积明显大于对照组,甲状腺肿的发病率也明显高于对照组;崔恺麟等<sup>[11]</sup>和Lope等<sup>[12]</sup>比较乳腺癌患者保乳术后组(不包括锁骨上下淋巴结引流区)和改良根治术后组(包括锁骨上下淋巴结引流区)放疗后半年、1年、3年、5年的甲状腺功能指标发现,改良根治术后组放疗后5年的各项甲状腺功能指标(主要包括T3、FT3、TSH、T4、FT4水平)均显著降低。因此,应该加强对甲状腺的辐射防护。

基于对甲状腺辐射敏感性的认知,人类越来越关注辐射对甲状腺的影响,2020年5月开始执行的《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130—2020)将保护甲状腺铅围脖的防护当量由0.25 mm Pb调整到0.5 mm Pb<sup>[13]</sup>。王茂枝和刘森林<sup>[14]</sup>认为,医学应用(X射线、加速器等)是人工辐射的主要来源。胡小素等<sup>[15]</sup>探讨骨科医生术中辐射防护及风险认知调查结果表显示,83.5%的医生主观认为辐射会损害甲状腺健康。魏薇等<sup>[16]</sup>的研究证实,在术中放疗联合乳腺癌保乳术中应用铅防护用具,可有效减少患者的辐射伤害。唐孟俭等<sup>[17]</sup>监测介入术者的术中甲状腺、左胸、会阴等部位(均使用铅防护用具)的受照剂量,结果也显示铅防护衣可有效降低辐射剂量,必须对患者的敏感部位采取防护措施<sup>[18]</sup>。甲状腺是乳腺癌术后放疗的关键器官,在患者生存得到保障的情况下,应遵循防护最优化原则,加强对颈部甲状腺的保护,避免其受到不必要的照射已成为当今辐射防护领域的研究热点。目前临床上保护甲状腺的铅围脖,由纯铅纤维加无纺布制成,在MV级的射线照射下,这种传统的铅围脖会被击穿,辐射防护效果有限,因此亟需寻找新型的防辐射材料。

辐射防护材料的铅当量往往是在特定的管电压情况下,辐射防护材料的防护效果相当于铅厚度的防护效果。本研究使用的常规防护材料和新型防护材料均采用纯铅进行防护,铅当量即为铅围脖中铅的厚度,普通材料是使用纯铅和无纺布,新型防辐射材料是纯铅悬浮在凝胶中间,胶体可吸收和削弱射线,外层无纺布采用纳米材料,可以使围脖轻盈服帖颈部,让患者佩戴无压迫感。

本研究主要探讨不同材料的铅围脖对保乳术后放疗患者甲状腺的保护作用,用热释光个人剂量计测量放疗过程中甲状腺部位铅围脖内外散射剂量并进行比较。结果发现2 mm Pb新材料组最高,和其他组相比,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),即表明2 mm Pb新材料具有较好的防护效果。而传统的2 mm Pb组和0.5 mm Pb组衰减效果相当,差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),这是因为铅对这种高能射线的阻止能力较弱,增加一定的铅当量对防护效果影响较小。就围脖舒适度而言,对照组和2 mm Pb新材料组的好评度最高。

除此之外,患者自身的辐射安全防护意识提高,治疗前主动要求全程佩戴铅围脖保护甲状腺的人较以往大幅增加。在放疗过程中没有出现放射性咽喉炎和放射性甲状腺炎等并发症的部分患者主观认为是铅围脖的保护作用。应可明等<sup>[7]</sup>研究发现有放射线接触史2年以上且甲状腺累积吸收剂量达到50 cGy以上时,甲状腺形态上会有肿大坚硬的变化。我们将继续采用超声检查的方式定期对4组患者进行5年的甲状腺超声检查,以了解其变化情况,进一步研究乳腺癌保乳术后放疗与甲状腺疾病的相关机制。

本研究结果证明,在乳腺癌保乳术后放疗中可用铅围脖对患者的甲状腺进行防护,以达到尽可能减少患者辐射敏感器官免受不必要照射的目的。新型防辐射材料有重量轻、贴合度好、舒适度高、射线衰减效果好等优点,比普通材料的铅围脖对甲状腺具有更好的保护作用,建议推广使用。

**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** 陈雪梅负责提出研究方向、设计论文框架、设计研究思路、实施研究过程并撰写论文;姜晓勃负责进行实验、进行对比实验、收集数据;陈富强负责参与实验数据分析、修订论文、审核论文;吴佳蔚负责收集数据、清洗数据;蔡维洵负责参与文献调研与整理、收集数据;周美娟负责

责设计研究思路、实验过程中难题解惑、参与论文修订、论文最终版本修订

## 参考文献

- [1] 李瑞英, 郝建磊, 朱莉, 等. 早期乳腺癌保乳术加放疗的临床疗效观察[J]. *山东医药*, 2011, 51 (32): 48-50. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2011.32.020.  
Li RY, Hao JL, Zhu L, et al. Observation on the clinical effect of breast-conserving surgery and radiotherapy for early breast cancer[J]. *Shandong Med J*, 2011, 51 (32): 48-50. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2011.32.020.
- [2] 国家质量监督检验检疫总局. GB 18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 18871—2002 Basic STANDARDS for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. GB 18871—2002[S]. Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [3] 程蕾, 季永领, 杜向慧. 乳腺癌放疗对甲状腺功能影响的研究进展[J]. *肿瘤学杂志*, 2018, 24 (8): 818-822. DOI: 10.11735/j.issn.1671-170X.2018.08.B013.  
Cheng L, Ji YL, Du XH. Research progress of the influence of radiotherapy on thyroid function in patients with breast cancer[J]. *J Chin Oncol*, 2018, 24 (8): 818-822. DOI: 10.11735/j.issn.1671-170X.2018.08.B013.
- [4] 中华人民共和国卫生部. GBZ/T 147—2002 X射线防护材料衰减性能的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.  
Ministry of Health of the People's Republic of China. GBZ/T 14—2002 Determination of attenuation properties for X-ray protective materials against X-rays[S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.
- [5] Smith GL, Smith BD, Giordano SH, et al. Risk of hypothyroidism in older breast cancer patients treated with radiation[J]. *Cancer*, 2008, 112 (6): 1371-1379. DOI: 10.1002/cncr.23307.
- [6] Nix P, Nicolaides A, Coatesworth AP. Thyroid cancer review 1: presentation and investigation of thyroid cancer[J]. *Int J Clin Pract*, 2005, 59 (11): 1340-1344. DOI: 10.1111/j.1368-5031.2005.00671.x.
- [7] 应可明, 陈峥, 燕归如, 等. 34例医务人员放射性甲状腺疾病临床特征分析[J]. *中国医药导刊*, 2018, 20 (5): 265-270. DOI: CNKI:SUN:DKYY.0.2018-05-004.  
Ying KM, Chen Z, Yan GR, et al. Clinical characteristics analysis of 34 cases of radiation thyroid diseases of medical personnel[J]. *Chin J Med Guid*, 2018, 20 (5): 265-270. DOI: CNKI:SUN:DKYY.0.2018-05-004.
- [8] Cutuli B, Quentin P, Rodier JF, et al. Severe hypothyroidism after chemotherapy and locoregional irradiation for breast cancer[J]. *Radiother Oncol*, 2000, 57 (1): 103-105. DOI: 10.1016/s0167-8140(00)00183-3.
- [9] 刘长路, 吴岩, 毕立夫. 甲状腺癌流行现状及危险因素的研究进展[J]. *中国地方病学杂志*, 2012, 31 (2): 234-236. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1000-4955.2012.02.035.  
Liu CL, Wu Y, Bi LF. Research progress on prevalence and risk factors of thyroid cancer[J]. *Chin J Endemiol*, 2012, 31 (2): 234-236. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1000-4955.2012.02.035.
- [10] 熊雅玲, 徐贵颖, 佟凌霞, 等. 彩色多普勒超声对乳腺肿瘤与甲状腺改变的关系观察[J]. *中国超声医学杂志*, 2000, 16 (8): 596-598. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0101.2000.08.012.  
Xiong YL, Xu GY, Tong LX, et al. A CDFI survey of breast carcinoma with thyroid gland implicated[J]. *Chin J Ultrasound Med*, 2000, 16 (8): 596-598. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0101.2000.08.012.
- [11] 崔恺麟, 张红. 乳腺癌患者经放射治疗后甲状腺功能变化情况及其临床意义研究[J]. *中国医学工程*, 2019, 27 (10): 62-64. DOI: 10.19338/j.issn.1672-2019.2019.10.017.  
Cui KL, Zhang H. Changes of thyroid function in patients with breast cancer after radiotherapy and its clinical significance[J]. *China Med Eng*, 2019, 27 (10): 62-64. DOI: 10.19338/j.issn.1672-2019.2019.10.017.
- [12] Lope V, Pérez-Gómez B, Aragonés N, et al. Occupational exposure to ionizing radiation and electromagnetic fields in relation to the risk of thyroid cancer in Sweden[J]. *Scand J Work Environ Health*, 2006, 32 (4): 276-284. DOI: 10.5271/sjweh.1011.
- [13] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GBZ 130—2020 放射诊断放射防护要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.  
National Health Commission of the People's Republic of China. GBZ 130—2020 Requirements for radiological protection in diagnostic radiology[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [14] 王茂枝, 刘森林. 辐射的来源漫谈[J]. *中国辐射卫生*, 2021, 30 (2): 238-243. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.02.025.  
Wang MZ, Liu SL. The sources of radiation[J]. *Chin J Radiol Health* 2021;30 (2) 238-243 DOI:10.13491/j.issn.1004-714X.2021.02.025.
- [15] 胡小素, 苏垠平, 陈丽娟, 等. 骨科医生术中经皮椎体强化术辐射防护及风险认知的研究[J]. *中国辐射卫生*, 2019, 28 (1): 33-36, 51. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2019.01.009.  
Hu XS, Su YP, Chen LJ, et al. Study on radiation protection and risk perception of percutaneous vertebral augmentation in orthopedic surgeons[J]. *Chin J Radiol Health*, 2019, 28 (1): 33-36, 51. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2019.01.009.

3969/j.issn.1006-2009.2013.01.016.

Li J, Zhang YX, Lu WW, et al. Investigations and discussions on the radioactive effluent monitoring of nuclear power plants[J]. *Adm Tech Environ Monit*, 2013, 25 ( 1 ) : 59-63. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2009.2013.01.016.

[14] 袁之伦, 李宏宇, 唐丽丽, 等. 我国核电厂气态流出物中惰性气体监测现状[J]. *同位素*, 2013, 26 ( 4 ) : 244-248. DOI: 10.7538/tws.2013.26.04.0244.

Yuan ZL, Li HY, Tang LL, et al. Study on monitoring capacity of noble gas for nuclear power plant effluent[J]. *J Isot*, 2013, 26 ( 4 ) : 244-248. DOI: 10.7538/tws.2013.26.04.0244.

[15] 庞超亚, 拓飞, 杨宝路. 全膳食中放射性核素的γ能谱测量方法研究[J]. *中国辐射卫生*, 2018, 27 ( 6 ) : 567-569,589. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2018.06.013.

Pang CY, Tuo F, Yang BL. A study for measuring radionuclides in whole diet by gamma spectrometry[J]. *Chin J Radiol Health*, 2018, 27 ( 6 ) : 567-569,589. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2018.06.013.

[16] 周强, 拓飞, 姚帅墨, 等. LabSOCS无源效率刻度软件验证与测量研究[J]. *中华放射医学与防护杂*, 2018, 38 ( 4 ) : 291-296. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2018.04.009.

Zhou Q, Tuo F, Yao SM, et al. Validation of the Laboratory Sourceless Calibration Software (LabSOCS) on measurement[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2018, 38 ( 4 ) : 291-296. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2018.04.009.

[17] 郭晓清, 戎永华, 杨巧玲, 等. 模拟气体标准源法校准反应堆惰

性气体监测仪效率[J]. *原子能科学技术*, 2019, 53 ( 6 ) : 1098-1104. DOI: 10.7538/yzk.2018.youxian.0533.

Guo XQ, Rong YH, Yang QL, et al. Efficiency calibration of reactor noble gas monitor using radioactive simulated gas standard source[J]. *At Energy Sci Technol*, 2019, 53 ( 6 ) : 1098-1104. DOI: 10.7538/yzk.2018.youxian.0533.

[18] 乔录成, 白立新, 张一云, 等. 高纯锗γ谱仪对环境样品探测效率的模拟计算[J]. *四川大学学报(自然科学版)*, 2003, 40 ( 2 ) : 301-304. DOI: 10.3969/j.issn.0490-6756.2003.02.024.

Qiao LC, Bai LX, Zhang YY, et al. Simulating calculation of the HPGe γ-spectrometer detection efficiency for environmental samples[J]. *J Sichuan Univ Nat Sci Ed*, 2003, 40 ( 2 ) : 301-304. DOI: 10.3969/j.issn.0490-6756.2003.02.024.

[19] 陈立, 唐智辉, 李强, 等. 惰性气体流出物离线监测仪的三种效率校准方法研究[J]. *原子能科学技术*, 2016, 50 ( 9 ) : 1706-1712. DOI: 10.7538/yzk.2016.50.09.1706.

Chen L, Tang ZH, Li Q, et al. Investigation of three efficiency calibration methods for off-line noble gas effluent monitor[J]. *At Energy Sci Technol*, 2016, 50 ( 9 ) : 1706-1712. DOI: 10.7538/yzk.2016.50.09.1706.

[20] Robinson T, Mann N, Houghton T, et al. Improved pressurized Marinelli beaker measurements of radioactive xenon in air[J]. *Appl Radiat Isot*, 2017, 126: 20-22. DOI: 10.1016/j.apradiso.2016.12.042.

(收稿日期:2021-08-19)

(上接第5页)

[16] 魏薇, 张增梅, 赵海运, 等. 射线防护在术中放疗联合乳腺癌保乳术中应用效果观察[J]. *郑州大学学报(医学版)*, 2018, 53 ( 5 ) : 671-674. DOI: 10.13705/j.issn.1671-6825.2018.05.004.

Wei W, Zhang ZM, Zhao HY, et al. Effect of radiation protection in intraoperative radiotherapy combined with breast-conserving surgery in patients with breast cancer[J]. *J Zhengzhou Univ Med Sci*, 2018, 53 ( 5 ) : 671-674. DOI: 10.13705/j.issn.1671-6825.2018.05.004.

[17] 唐孟俭, 吴应宇, 陈掌凡, 等. 某医院心内科介入术者受照剂量监测分析[J]. *中国辐射卫生*, 2020, 29 ( 5 ) : 484-488,492. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.05.010.

Tang MJ, Wu YY, Chen ZF, et al. The monitoring and analysis of

occupational radiation doses in interventional radiology in a hospital[J]. *Chin J Radiol Health*, 2020, 29 ( 5 ) : 484-488,492. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.05.010.

[18] 唐孟俭, 韦宏旷, 陈掌凡, 等. 三种介入诊疗手术患者的辐射剂量分析[J]. *中国辐射卫生*, 2016, 25 ( 4 ) : 423-425. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2016.04.014.

Tang MJ, Wei HK, Chen ZF, et al. Analysis of radiation dose of three kinds of interventional diagnosis and operation patients[J]. *Chin J Radiol Health*, 2016, 25 ( 4 ) : 423-425. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2016.04.014.

(收稿日期:2021-08-22)