

核电站事故卫生应急中的稳定碘预防

雷翠萍 陈惠芳 袁龙

100088 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 辐射防护与核应急中国疾病预防控制中心重点实验室

通信作者:袁龙,Email:yuanlong@nirp.cn

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.11.011

【摘要】 稳定碘预防是核电站事故卫生应急的重要环节。根据国际组织和各国的最新导则,探讨了稳定碘预防的干预水平、服用时机,以及不同人群的服用剂量和禁忌证,同时介绍了稳定碘的化学形态和剂型,指出存储与分发时应注意的事项。在稳定碘预防的准备工作中,我国还存在剂型单一、有效期短、存储范围小、没有详细且可行的指导方案等问题,应进一步加强稳定碘预防的准备工作。

【关键词】 核电站; 核事故; 卫生应急; 稳定碘预防; 碘化钾

Stable iodine prophylaxis for public health response after nuclear power plant accidents Lei Cui ping, Chen Hui fang, Yuan Long

Key Laboratory of Radiological Protection and Nuclear Emergency, National Institute for Radiological Protection, China CDC, Beijing 100088

Corresponding author: yuanlong@nirp.cn

【Abstract】 The stable iodine prophylaxis plays an important role in public health response after nuclear power plants accident. According to the recent guidelines of the international organizations and other countries, the intervention level of stable iodine prevention, timing of taking medication, doses for different groups, and the contradictions were discussed in this paper. The chemical form and the formulation of the stable iodine were introduced, and something needs attention during stockpiling and distribution of the iodine. There were still some problems in China on the preparedness for the stable iodine prophylaxis after nuclear power plant accident, including the single type of potassium iodide tablet, short shelf life and no practical guidance. The preparedness of stable iodine should be strengthened.

【Key words】 Nuclear power plant; Nuclear accident; Public health response; Stable iodine prophylaxis; KI

发生核事故时,含有放射性碘的物质释放到空气中,可能会通过吸入污染的空气、食用污染的食品或饮用水、经皮肤吸收而导致人体受到内照射,同时,还可能由于放射性烟雨沉积在物体表面而导致人体受到外照射,这些内外照射对公众的健康影响很大。而稳定碘预防是核事故中阻止放射性碘造成健康危害的重要应急干预措施。做好稳定碘预防的储备、及时有效地开展稳定碘预防,是放射应急工作面临的重要挑战。

一、稳定碘预防概述

核事故情况下,含有放射性碘的放射性物质先被释放到空气中,随后又沉积到地面、物体表面、食品和水,从而通过4种途径对人群产生照射:吸入污染的空气、食入污染的食品和水、皮肤吸收而导致的内照射和沉积的放射碘导致的外照射。其中,最重要的照射途径是吸入污染的空气和食入污染的食品及牛奶、饮用水。而皮肤吸收和沉积放射性碘的外照

射对公众健康造成的影响很小。

由于甲状腺需要用碘来生产调节人体代谢的激素,具有浓集和贮存碘的能力,因此放射性碘进入体内主要在甲状腺吸收和蓄积,从而对其造成内照射,诱发甲状腺癌、甲状腺功能减退等疾病。研究表明:暴露于放射性碘的年龄越小,发展为甲状腺癌的风险越高。

稳定碘预防是指当事故已经或可能导致释放放射性碘的情况下,将含有稳定碘的化合物作为一种防护药物分发给公众成员或工作人员服用,以阻止或减少人体甲状腺对吸入和食入放射性碘的吸收,从而降低甲状腺的受照剂量。也称为碘预防、服碘防护或服用稳定性碘^[1]。

稳定碘可用于防护或阻止甲状腺受到照射。在暴露于放射性碘之前或最初阶段服用稳定碘,不仅可以阻止或减少甲状腺吸收和蓄积放射性碘,还可以防止有机碘的再循环,使放射性碘的有效半排出期缩短,促进放射性碘的排出。

但是,稳定碘只对放射性碘具有防护作用,不能防护任何其他放射性核素如放射性铯,它不是广效的辐射防护剂;也不能防止由沉积在地表、物体表面导致的外照射;不能阻止放射性碘进入体内,但可以阻止放射性碘在甲状腺的蓄积。

二、稳定碘预防的方法

1. 干预水平:在应急干预的决策过程中,既要考虑辐射剂量的降低,也要考虑实施防护措施困难和代价,因此,应遵循辐射防护最优化原则。首先,为避免发生确定性效应(组织反应),必须采取防护措施,限制个人的受照剂量,使之低于可引起确定性效应的剂量阈值。其次,应限制随机性效应的总发生率,使其达到可合理做到的尽可能低值。

美国食品和药品监督管理局(FDA)2001年发布的《辐射应急情况下碘化钾作为甲状腺阻滞剂的使用导则》^[2]中,对不同的人群,采用不同的干预水平。其中,<18岁的人群,预期甲状腺剂量为5 cGy;18~40岁的人群,预期甲状腺剂量为10 cGy;≥40岁的成年人,干预水平为预期甲状腺剂量为500 cGy。

我国在《核与放射事故干预及医学处理原则》(GBZ 113-2006)^[3]中,规定了碘防护的通用优化干预水平是甲状腺可防止的待积剂量为100 mGy;急性照射的剂量行动水平为5 Gy。没有根据不同人群对放射性碘的敏感性不同而进一步划分不同的干预水平。

国际原子能机构(IAEA)2011年出版的通用安全导则GSG-2《核或放射应急准备与响应应用准则》^[4]和2014年出版的安全标准GSR第3部分《国际电离辐射防护和辐射源安全基本标准》^[5]中用通用准则代替了干预水平,规定为避免或减少严重确定性效应的发生,在任何情况下应采取防护行动和其他响应行动的急性照射剂量通用标准为甲状腺吸收剂量2 Gy;为降低随机性效应的风险,在应急照射情况下采取防护行动和其他响应行动的甲状腺当量剂量为在最初7 d内50 mSv。并且指出甲状腺碘阻断的通用标准,在下述紧急防护情况下要用到:(a)涉及到了放射性碘暴露。(b)在放射性碘释放前或释放后短时间内。(c)摄入放射性碘后短时间内。在剂量较低情况下,可以采用如隐蔽这样影响较小的防护行动。

2. 服用时机:服用稳定性碘对甲状腺的防护效果与其服用的时机关系非常大。人体一次摄入放射性碘后,甲状腺的吸收量约在24~48 h后达到峰值,而半蓄积期为5 h左右。在这一时间段前,采用稳定性碘阻止甲状腺吸收放射性碘十分重要。

因此,为最大限度地降低对甲状腺的辐射剂量,应在摄入放射性碘之前服用稳定碘;或在其后可行时立即服用。如果在摄入放射性碘前6 h口服稳定碘,几乎可以提供完全的防护;如果在放射性碘吸入时,同时服用稳定碘,甲状

腺阻滞效果可达90%;但如果在吸入4 h内使用,放射性碘的摄入量可以降低一半,24 h后服用可能没有防护效果^[6-7]。

3. 服用剂量:稳定碘的服用剂量与年龄有关。世界卫生组织(WHO)推荐的不同年龄组人群服用稳定碘的单次剂量列于表1^[6-7]。成人和>12岁的青少年,单次服用剂量为100 mg碘,即1片130 mg的碘化钾(KI);3~12岁的儿童单次服用剂量为50 mg碘,即半片130 mg的碘化钾;1个月~3岁的婴幼儿,单次服用剂量为25 mg碘,即1/4片130 mg的碘化钾;新生儿单次服用剂量为12.5 mg碘,即1/8片130 mg的碘化钾。

表1 WHO推荐的不同年龄段人群服用稳定碘的单次剂量

Table 1 The single dosage of stable iodine according to age groups recommended by WHO

年龄段	碘质量 (mg)	KI 质量 (mg)	KIO ₃ 质量 (mg)	相当于100 mg 碘的片数
<1个月	12.5	16	21	1/8
~3岁	25	32	42	1/4
~12岁	50	65	85	1/2
~40岁	100	130	170	1

注:WHO. 世界卫生组织;KI. 碘化钾;KIO₃. 碘酸钾

稳定碘对人体健康不良反应的风险随着年龄的增长而增加,但放射性碘引起甲状腺癌的风险,在40岁以上的成年人中非常低。因此福岛核事故后,WHO的建议:除非甲状腺的预期剂量高到危害甲状腺和干扰甲状腺功能的水平,对40岁以上的公众成员不建议广泛地服用稳定碘。

4. 婴幼儿服用方法:稳定碘一般以片剂方式存储,但是婴儿和小的幼儿不能吞服,需要将碘片溶解,但是溶于水,对他们来说太咸了,可能不会服用。美国食品和药品监督管理局(FDA)因此建议可以用巧克力奶、果汁、汽水如可乐、糖浆来掩盖稳定碘的咸味^[8]。

稳定碘溶液制作过程如下:①首先将稳定碘片碾成粉末:将碘片放入一个小碗中,用金属勺子的背面碾成细粉末。粉末中应不含大块。②将稳定碘混入水:加4勺水于稳定碘粉末中,用勺子混匀,指导稳定碘完全溶于水中。③在稳定碘溶液中加入4勺选择的饮料混匀。④每勺的溶液含稳定碘16.25 mg,根据孩子的年龄选择服用的剂量。⑤这种溶液在冰箱中可存储7 d。稳定碘溶液超过1周的应扔掉。

5. 服用次数:由于甲状腺的代谢作用,一次服用的稳定碘并不能长久地保持对放射性碘的阻断作用。稳定碘对甲状腺的保护作用约持续24 h,每经过一昼夜,其阻断作用约消失50%。因此,对于已预防性服药,但可能持续、多次受到放射性碘内污染的情况下(如反复进入污染区进行救援任务及在污染区停留时间长的人员或公众),就有必要多次服用稳定碘,直至吸入或食入放射性碘的显著危险不再存在为止。为了将在脑发育的关键时期出现甲状腺功能减退的可

能性降到最小,新生儿、孕妇和哺乳妇女不应当重复给药,对这类人群应采取其他的防护措施。

6. 重点关注人群:由于放射性碘对胎儿和婴幼儿及儿童甲状腺癌的风险高于成人,因此在可供使用的稳定碘数量不足的情况下,需要最优先考虑防护的人群是:新生儿、婴幼儿与儿童、孕妇、哺乳妇女。

新生儿是指出生 <1 个月的婴儿,他(她)们应只服用单次剂量的稳定碘。在服用稳定碘后,应当监测甲状腺激素的水平^[9]。建议服用稳定碘后的 1 周向儿科医生进行咨询。

对于婴幼儿和儿童(有绝对禁忌证的人群除外)来说,由于放射性碘引起儿童甲状腺癌的风险高于成人,在分发和服用稳定碘时应当优先考虑这一人群。

孕期妇女的甲状腺代谢比非孕期妇女更为活跃,吸收放射性碘的总量与其他成人相比更高。胎儿甲状腺可能通过胎盘受到放射性碘的照射,但可以通过母亲服用稳定碘而受到保护。因此,当接到服用稳定碘的指令时,孕期妇女也应当遵从服用成人的推荐剂量,以保护本人和胎儿的甲状腺。一旦应急期过去,怀孕妇女应当告知医生这些信息,并记录在就诊手册上以便在婴儿出生时评估甲状腺的功能。

当接到服用稳定碘的指令时,哺乳期妇女也应当服用成人的推荐剂量。哺乳妇女通过乳汁向婴儿体内转移的稳定碘量不足以保护婴儿的甲状腺。因此,除了哺乳妇女服用稳定碘外,婴儿也应该给予年龄别推荐剂量的稳定碘。这种情况下,可以进行母乳喂养^[7]。

7. 稳定碘化学形态:常用的稳定碘防护剂主要有碘化钾(KI)和碘酸钾(KIO₃)两种,其中 KI 更为常用。KI 和 KIO₃ 的防护效果并无优劣之分,阻止放射性碘的吸收效果基本相同。KI 在短时间内可完全被吸收的,溶解性比 KIO₃ 更强。KIO₃ 对胃肠道有刺激作用,可产生恶心、呕吐等反应,易被误认为是辐射导致而引起恐慌。因此,大多数国家都采用 KI 作为稳定碘防护剂。^[10]

8. 稳定碘的剂型:在选择稳定碘的剂型时,要考虑以下因素:便于快速分发;服用方便,且剂量便于根据不同人群服用剂量不同而分开;便于集中或家庭存储,并且保存期长;由于稳定碘片存储量大,且需要不断轮储,因此要价格便宜。目前常见的为稳定碘的片剂^[10]。这种剂型易于存储、分发快,服用方便。缺点是剂量灵活性小,小儿服用困难等。

目前用于核事故中稳定碘预防中的稳定碘片剂,大多数国家采用 130 mg 规格的碘化钾,加拿大采用 65 mg 规格,美国则 130 和 65 mg 两种规格并存,而日本则为 50 mg。

应当指出,新生儿稳定碘片单次用剂量为成人的 1/8,1 个月到 3 岁儿童用量为成人的 1/4,将碘片分成 4 等份或 8 等份实际上很困难,而且很难保证准确的用药剂量(尤其对新生儿)。而新生儿、婴儿和幼儿是对放射性碘诱发甲状腺癌最敏感的人群,也是稳定碘预防防护的关键人群,有必要为其提供适宜规格、剂型的 KI。与 130 和 65 mg 的片剂相

比,含 32.5 或 16.25 mg KI 的溶液(糖浆),更适于这部分人群。

9. 储存期:在密闭、干燥、避光条件下,稳定碘的货架寿命很长,片剂和溶剂的货架寿命一般在 5 年以上。大部分国家稳定碘的有效期为 5~10 年。有的国家每 5 年对片剂进行检查,根据检查结果延长存储期。采用铝箔包装有助于碘片的长期保存。

10. 不良反应:正常情况下,人体每天从食品中摄取约 100 μg 碘,但甲状腺仅有一小部分储留,大部分从尿中排出。当碘摄入量过多时,可导致甲状腺功能改变。但既往的研究和经验表明,在核应急情况下,在所有的年龄组,稳定碘对甲状腺阻吸收的整体利益远远大于其不良反应的风险。

其中,新生儿甲状腺功能对脑发育至关重要,因此,新生儿在服用稳定碘后,应进行甲状腺激素水平监测。儿童和年轻的成人服用合理的剂量时,稳定碘的不良反应几乎不会见到,仅可能会出现轻微的过敏性反应如皮疹和胃肠道不适。但在 40 岁以上的人群中,碘诱发甲状腺功能失调的甲状腺疾患的发病率较高,比年轻人更容易发生稳定碘的不良反应。

稳定碘对甲状腺功能的不良反应主要发生在既往有甲状腺疾病的个体。与儿童和年轻的成人相比,这些甲状腺疾病在年纪大的成人中更为常见;更可能发生在超剂量服用稳定碘或重复给药的个体中;并且会因饮食中的碘含量和甲状腺疾病的流行情况的不同,而有很大差别(老年人要比婴儿和年轻人严重得多)。主要症状包括涎腺炎、胃肠功能紊乱、过敏反应与轻微的皮疹,碘诱发的甲状腺功能亢进、短暂的甲状腺机能减退和甲状腺肿。

稳定碘在每日治疗剂量为 300 mg 情况下,人群负面效应(甲状腺机能减退、甲状腺机能亢进、甲状腺毒症、甲状腺肿)的概率为 10⁻⁶~10⁻⁷。碘预防后死亡的危险度估计约为 3×10⁻⁹^[11]。不良反应的危险度随服用数量的增加而增加。所以,当摄入的放射性碘低于干预水平,人群必须立即停止服用稳定性碘。

11. 禁忌证:关于稳定碘绝对禁忌的临床症状非常少。当有这些症状时应根据医生的建议不服用稳定碘而采取其他防护措施。这些症状包括:既往或现患甲状腺疾病,如地方性碘缺乏性甲状腺肿、甲状腺结节、弥漫性毒性甲状腺肿已治愈、曾接受过放射性碘的治疗、慢性淋巴细胞性甲状腺炎、甲状腺单侧切除、有亚临床型甲状腺功能减退及遗传性 T3、T4 缺乏的高龄者等;对于碘过敏,这种疾病非常罕见,注意不要与在放射性检查时对碘造影剂过敏而混淆,如疱疹样皮炎(慢性皮肤症状);血清补体缺乏性血管炎(一种的罕见血管壁炎症,在某些免疫失调中发生);先天性肌强直(非常罕见的先天肌肉强直)。

对于确需服用者,须严密观察,如有不良反应,应立即停药。

12. 存储:稳定碘应有充足的储备,并提供超过 1 d 的数

量。在反应堆事件中,持续的释放、疏忽食入或因 ^{132}Te 的衰变中产生 ^{132}I ,可能需要进行持续 1 d 以上的稳定碘预防措施。核事故后,需要开展的稳定碘预防工作会涉及到大量的人群。稳定碘需要提前分区域保管。如放置在当地的卫生院、疾病预防控制中心、急救站等医疗机构或学校、人防中心等地方,以保证稳定碘能迅速地分发到公众手中。稳定碘需要储存在密闭、干燥、避光条件下保存,过期后要开展轮储。当稳定碘采取集中或分区域保管时,应考虑放置在当地的卫生院、疾病预防控制中心、急救站等医疗机构或学校、人防中心等地方。

2013 年,IAEA 在总结以往事故、特别是 2011 年福岛核事故的应急响应经验教训的基础上,出版了名为《轻水堆严重工况应急中保护公众的行动》(No. GS-G-2)^[4]的技术文件,扩大了预防行动区和紧急防护行动计划区的半径值,并增加了“扩展计划距离”以及“食入和商品计划距离”两类应急计划距离。根据该出版物,预防行动计划区和紧急防护行动计划区都应作为近区来考虑碘片的存储和发放。而扩展计划距离、食入和商品计划距离也可能需要考虑稳定碘预防的问题。而国际原子能机构和世界卫生组织联合倡议的《核或放射应急医学响应通用程序》^[7]中指出,稳定碘储备除了保证预防行动计划区和紧急防护行动计划区公众的服用外,还应当保证能在撤离应急计划中取到和食入应急计划区以外实施稳定碘预防,因此也应适当考虑对扩展计划距离、商品和食品计划距离以及应急计划区以外稳定碘的储备。

13. 分发:核事故后,稳定碘的预防会涉及到大量的人群。如何使波及的人群能及时得到并服用稳定性碘,是稳定碘预防效果的关键因素。制定详细、周密的碘存储和发放计划非常重要。

当前稳定碘的分发有 3 种方式:事先分发到居民手中;集中或分区域储存保管,在核事故后需要时分发;通过药店供应碘片。但是我国药店没有稳定碘销售,因此在此只讨论前两种方式。

这两种分发方式各有优缺点。事先分发可以保证居民立即服用碘片,并且如果有通知人群服碘的信息渠道,不需要应急人员因分发药物而受到照射。缺点是:碘片可能被误服;存储不当可能丢失;暂住人群的碘片供应需要额外考虑;需要经常定期重复预分发;对服药敏感人群健康监测比较困难;过期碘片轮储及处理复杂等。

事故发生后需要时分发优点是便于稳定碘的存储与轮储;以及包括暂住人群在内的受影响人群都可以获得稳定性碘;医护人员可以更有效地对这些人群的健康和安全提供监护并开展随访登记;公共卫生人员可根据事故的演变及时调整对公众的防护对策。缺点是很难保证及时地服用碘片,且需要的应急工作人员较多。事故后发放还需要考虑的几个问题:如何选择发放时机;近区已经采取隐蔽措施,由谁来发放;偏僻地区或流动人群如何发放;以及如何给予公众服碘的指导;还有公众可能需要的相关医学咨询

等问题。

在福岛核事故后,日本政府将“事后”的稳定碘分发政策改为“事前”,指导地方政府对核电站 5 km 范围内的居民预先发放稳定碘片^[12]。而在食入应急计划区(远区)则因距离核设施较远、涉及的人群范围大,则采取集中存储的方式。IAEA 在《核或放射应急医学响应通用程序》^[7]中指出:响应经验表明,在核电厂临近(预防行动区和紧急防护行动计划区)预先分发稳定碘片有实际意义。但是,在预防行动区和紧急防护行动计划区外实施稳定碘预防也应有保证。在放射应急公共卫生响应的准备阶段,就应制定好稳定碘发放计划。此计划必须包括储备(数量、位置、体积、更新日程表)、分发方法、参与分发的人员等项目内容。

稳定碘的发放要有详细的计划,在制定计划时,应考虑当地的学校、工厂、幼儿园等社会团体及居民的分布特点;要安排充裕的分发场所,尽量减少稳定碘预防执行中的时间延误;同时应对稳定碘分发的利益是否超过应急工作人员受到额外照射危险予以充分考虑。

无论什么时候发放碘片,都应当同时发给公众一张稳定碘使用说明书或卡片,内容包括:为什么需要服用稳定碘片;服用碘片的人群;不同人群服用碘片的片数/剂量;服用碘片的方法;服用碘片的时机;儿童、婴儿和新生儿迅速服用碘片的优先性;不能服用碘片的人群;服用碘片的不良反应、出现问题的就诊方法等。

14. 服用人群的登记与随访:如果采取稳定碘预防措施,要确保每位服用稳定碘的人员信息都记录在案。根据应急范围和涉及的人数,可记录一般信息(服药剂量、年龄和性别分布等),或更详尽的个人信息(姓名和性别、出生日期、住址、每日用量和总用量等)。在两种情况下,都应收集和记录有关用药后不良反应的信息。事故后,应当开展服用人群的长期健康随访。

三、我国稳定碘预防存在的问题

1. 碘化钾有效期短、剂型单一。我国目前生产的稳定碘为 130 mg 的片剂碘化钾,并且有效期只有 1 年。这种剂型的特点是便于家庭保管、分发快,服用方便,引起的胃肠道刺激较小等。不利的方面是剂量灵活性差,小儿服用困难等。儿童是服用碘化钾最重要的人群,在碘化钾数量不够的情况下,优先要保证儿童的服用。因此,研制适合儿童服用的剂型时保证儿童正确服用碘化钾的重要环节。如果将目前的单一剂型修改为易于分开为半片、1/4 片、1/8 片的剂型或者再研制出适宜小儿服用的糖浆剂型则可以解决上述问题。

而有效期仅为 1 年,则极大地增加了轮储的难度和资源的浪费。如前所述,碘化钾的货架寿命很长,一般在 5 年以上。大部分国家稳定碘的有效期为 5~10 年。有的国家每 5 年对片剂进行检查,根据检查结果延长存储期。

我国相关部门应当重视碘化钾剂型和有效期的问题,推动碘化钾存储和轮储工作顺利开展。

2. 存储覆盖范围小。目前,核电站周围碘化钾的存储范

围仅仅覆盖核电站烟羽应急计划区约 5 km 范围内的常住人口。而根据以往的经验 and 新的国际导则,则至少应在预防行动区和紧急防护行动区存储碘片。通过与国际专家交流得知:德国为全国的民众都存储了碘片;日本则在核电站周围 30 km 范围内存储了碘片,其中预防行动区为预先分发,而紧急防护行动区则是集中存储,事故后分发;韩国则是在核电站周围 20~30 km 范围内的预防行动区和紧急防护行动区进行了集中存储。

我国也应根据既往事故的教训和国际新的导则对碘化钾的存储范围进行新的调整,并且存储的对象,不仅仅包括当地的常住人口,还应将流动人口纳入其中。同时,还应考虑在预防行动计划区和紧急防护行动计划区之外的相关区域的存储和为了减轻公众恐慌而进行的储备。

3. 缺乏详细的、可操作的稳定碘预防指导方案。目前,我国除了《核与放射事故干预及医学处理原则》(GBZ 113-2006)^[3]和《核和辐射事故医学响应程序》(WS/T 467-2014)^[13]中介绍了稳定碘预防的干预水平和服用方法之外,尚未见更详细稳定碘预防指导方案。因此,相关部门急需制定切实可行的稳定碘预防指导方案。指导方案除了应包括稳定碘预防的干预水平、服用剂量、服用方法、禁忌症等外,还应包括:如何下达和传达开展稳定碘预防的命令、谁来执行稳定碘预防措施、不同人群的 KI 如何分发、如何与其他紧急防护行动相结合、如何开展医学登记与随访、如何开展稳定碘的存储与轮储等相关内容。

利益冲突 本文作者无可对研究结果产生影响的正当财务关系,在此对研究的独立性和科学性予以保证

作者贡献声明 雷翠萍负责文献调研、研究设计、论文撰写与修改;陈惠芳参与文献调研;袁龙对设计与论文撰写予以指导

参 考 文 献

- [1] 刘长安,耿秀生,刘英. 稳定碘预防在核事故应急中的应用[M]. 北京:北京大学医学出版社,2006.
Liu CA, Geng XS, Liu Y. Stable iodine prophylaxis in nuclear emergency[M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2006.
- [2] U. S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research. Guidance for potassium iodide as thyroid blocking agent in radiation emergencies[R]. Rockville: FDA, 2001.
- [3] 中华人民共和国卫生部. GBZ 113-2006 核与放射事故干预及医学处理原则[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
Ministry of Health of the People's Republic of China. GBZ 113-2006 Guidelines on intervention and medical management in the nuclear and radiological accident[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.
- [4] International Atomic Energy Agency. safety standards series No. GSG-2. criteria for use in preparedness and response for a nuclear or radiological emergency[S]. Vienna: IAEA, 2011.
- [5] International Atomic Energy Agency. Safety standards series No. GSR Part 3. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards[S]. Vienna: IAEA, 2014.
- [6] World Health Organization. Use of potassium iodide for thyroid protection during nuclear or radiological emergency[R]. Geneva: WHO, 2011-03-29 [2017-7-31]. http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/tech_briefings/potassium_iodide/en/.
- [7] World Health Organization. Guidelines for iodine prophylaxis following nuclear accidents: update[S]. Geneva: WHO, 1999.
- [8] U. S. Food & Drug Administration. Home preparation procedure for emergency administration of potassium iodide tablets to infants and children using 130 milligram (mg) tablets[R]. Maryland: U. S. Food & Drug Administration 2012-08-22/[2017-07-31]. <https://www.fda.gov/Drugs/EmergencyPreparednessBioterrorismandDrugPreparedness/ucm072254.htm>.
- [9] 刘长安,耿秀生,陈尔东,等. 核应急情况下的稳定碘预防策略初探(一)[J]. 中国急救复苏与灾害杂志, 2007, 2(1): 53-56. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6966.2007.01.022.
Liu CA, Geng XS, Chen ED, et al. The study on stable iodine prophylaxis during nuclear emergency (1) [J]. Chin J Emerg Resuscitat Disas Med, 2007, 2(1): 53-56. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6966.2007.01.022.
- [10] 刘长安,耿秀生,陈尔东,等. 核应急情况下的稳定碘预防策略初探(二)[J]. 中国急救复苏与灾害杂志, 2007, 2(2): 114-116. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6966.2007.02.025.
Liu C, Geng XS, Chen ED, et al. The study on stable iodine prophylaxis during nuclear emergency (2) [J]. Chin J Emerg Resuscitat Disas Med, 2007, 2(2): 114-116. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6966.2007.02.025.
- [11] The 2nd UK Working Group on Stable Iodine Prophylaxis. Stable iodine prophylaxis: Recommendations of the 2nd UK Working Group on Stable Iodine Prophylaxis[R]. London: NRPB, 2001.
- [12] Ojino M, Yoshida S, Nagata T, et al. First successful pre-distribution of stable iodine tablets under Japan's new policy after the Fukushima Daiichi nuclear accident [J]. Disas Med Public Health Prepared, 2017, 11(3): 365-369. DOI: 10.1017/dmp.2016.125.
- [13] 国家卫生和计划生育委员会. WS/T 467-2014 核和辐射事故医学响应程序[S]. 北京:中国标准出版社, 2014.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. WS/T 467-2014 Procedures for medical response during a nuclear or radiological accident[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.

(收稿日期:2017-08-01)