

# 临床核医学辐射安全专家共识

中华医学会核医学分会《临床核医学辐射安全专家共识》编写委员会

通信作者:李亚明, Email: ymli2001@163.com; 李思进, Email: lisjnm123@163.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.04.008

**Expert consensus on radiation safety in clinical nuclear medicine** Writing Committee of Chinese Society of Nuclear Medicine for the Expert Consensus on Radiation Safety in Clinical Nuclear Medicine

Corresponding authors: Li Yaming, Email: ymli2001@163.com; Li Sijin, Email: lisjnm123@163.com

## 一、前言

辐射安全是临床核医学的重要组成部分,也是临床核医学工作中的重要和关键内容之一,日常工作中应用较多且备受关注。但目前国内尚缺乏临床核医学辐射安全指导性文件。为使临床核医学工作开展得更规范,中华医学会核医学分会编写了《临床核医学辐射安全专家共识》(以下简称《共识》)。《共识》编写参照国际机构和中华人民共和国国家标准进行,编写组参阅大量国内外权威指南、规范、教材、专著、文献及相关政策法规,并经核医学、放射医学及辐射防护专家的反复论证。但《共识》仍存在很多不足,望刊出后能得到有益的反馈与指正,以便日后进一步完善。

## 二、概述

《共识》规定了临床核医学诊断与治疗实践和干预中有关人员及工作场所的放射卫生防护要求,适用于临床核医学应用放射性药物施行诊断与治疗的实践。《共识》条款主要引用国际原子能机构(International Atomic Energy Agency, IAEA)、国际辐射防护委员会(International Commission on Radiological Protection, ICRP)、联合国原子辐射效应科学委员会(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR)和中华人民共和国国家标准及放射卫生防护标准等。

辐射防护原则包括正当性原则、最优化原则及个人剂量限值。天然辐射包括宇宙射线及宇生放射性核素、地壳中天然放射性衰变链中的放射性核素、空气中的氡及其衰变产物,以及包含在食物及饮料中的各种天然存在的放射性核素。人工辐射包括医学诊断与治疗程序、大气层核试验的放射性落下灰、事故释放源、核能发电链排放源、核与辐射技术利用排放源,以及人为活动引起的天然辐射增强源。数据<sup>[1-3]</sup>显示,天然辐射源对中国和全球居民平均年

个人有效剂量分别为 3.1 mSv 和 2.4 mSv,其中室内氡照射(氡及其子体)是主要贡献者(约占 50%);人工辐射源所致中国和全球平均职业照射水平个人有效剂量分别为 2.1 mSv 和 0.8 mSv,医学应用不是主要贡献者,分别处于第 4 位和第 3 位。

## 三、工作场所的防护

1. 工作场所。依据标准<sup>[4-5]</sup>,临床核医学科工作场所分为 I、II、III 3 类;非密封源工作场所分为甲、乙、丙 3 级;辐射工作场所分为 3 区:控制区(如制备及分装放射性药物的操作室、给药室、显像室、治疗患者的床位区等)、监督区(如使用放射性核素的标记实验室、诊断患者的床位区、放射性核素或药物贮存区、放射性废物贮存区等)和非限制区(如工作人员办公室、电梯、走廊等)。临床核医学诊断及治疗用工作场所(包括通道)应注意合理安排和布局,应有助于实施工作程序,应有收集放射性废物的容器,容器上应有放射性标志;诊断用给药室与检查室应分开,如必须在检查室给药,应有防护设备;诊断用候诊室应靠近给药室和检查室,应有受检者专用厕所。

2. 放射性药物操作。(1)通风橱。合成和操作放射性药物所用,必须为铅为主的防护材料,同时应具有紫外光杀菌功能;工作中应有足够的风速,排气口应高于所在建筑屋脊,并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置,排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值<sup>[5]</sup>。

(2)放射性污水衰变池。凡 I 类工作场所和开展放射性药物治疗的单位应设有放射性污水衰变池存放放射性污水,符合排放要求时方可排放;废原液和高污染的放射性废液应专门收集存放<sup>[5]</sup>。ICRP 数据<sup>[6]</sup>显示,因医学应用而排放的非密封放射性核素水平(包括<sup>131</sup>I、<sup>99m</sup>Tc 等)活度很低,不会对环境产生影响,即使将其直接释放至污水管道系统中,由于

其物理半衰期相当短,所导致公众和管道工人的剂量远低于公众剂量限值;同时,IAEA<sup>[7]</sup>也建议医学应用非密封放射性核素可不设置放射性污水衰变池,避免二次辐射伤害。

(3)防护措施。操作放射性药物应在专门场所,如给药不在专门场所进行时则需采取适当防护措施。操作放射性药物应在衬有吸水纸的托盘内进行,工作人员应穿戴个人防护用品;操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风橱内进行。在放射性工作场所(控制区和监督区)不得进食、饮水、吸烟,也不得进行无关工作及存放无关药物<sup>[5]</sup>。核医学放射性药物主要用铅防护,铅半值层厚度见表 1。

表 1 常用放射性药物的铅屏蔽资料

放射性核素	$\gamma$ 射线能量 <sup>a</sup>	铅的半值层厚度 (mmPb) <sup>b</sup>
<sup>99</sup> Tc <sup>m</sup>	140 keV (89%)	0.3
<sup>131</sup> I	364 keV (81%)	3.0
<sup>18</sup> F	511 keV (194%)	5.5
<sup>11</sup> C、 <sup>13</sup> N、 <sup>15</sup> O	511 keV (200%)	5.5

注:<sup>a</sup> 括号内百分数表示每 100 次衰变  $\gamma$  射线的数目;<sup>b</sup> 采用 10 个半值层厚度的铅将射线能量减少到未屏蔽值的 1/1 024 ( $2^{10} = 1 024$ )

(4)放射与污染监测。剂量监测应有专人组织实施,个人剂量计应佩戴在左胸位置;控制区的工作人员应进行常规个人剂量监测,监督区内的工作人员仅在需要确定工作场所是否安全和验证个别操作安全性时才进行个人剂量监测;使用挥发性或放射性气体的操作区应进行气体、气溶胶放射性浓度的常规监测;验证防护屏蔽效果时应进行场所及其周围环境的外照射水平监测;实验室、病房、洗涤室、给药间应经常进行表面污染监测;工作人员操作后离开放射性工作室前应洗手和进行表面污染监测,从控制区取出任何物品都应进行表面污染检测;各项监测结果应记录在案,包括地点、日期、使用仪器型号和监测人员姓名<sup>[4]</sup>。

(5)贮存与管理。贮存和运输放射性物质均应使用专门容器,且有适当屏蔽和防护措施,其贮存室应定期进行放射防护监测;贮存的放射性药物应及时登记建档,登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等;体外放射免疫分析时使用含<sup>3</sup>H、<sup>14</sup>C和<sup>125</sup>I等核素的放射免疫分析试剂盒可在一般化学实验室进行<sup>[5]</sup>。

3.放射性药物治疗。(1)病房防护。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度,确定放射

护要求;病房应有防护栅栏或隔断,以控制已给药患者同其他人保持足够距离,必要时可采用附加屏蔽防护措施<sup>[5]</sup>。

(2)控制区防护。使用治疗量的发射  $\gamma$  射线放射性药物的区域应划为控制区。配药室应靠近病房;用药后患者床边 1.5 m 处或单人病房应划为临时控制区;控制区入口处应有电离辐射警告标志,除医务人员外,其他无关人员不得入内,患者也不应随便离开该区<sup>[5]</sup>。

4.医用放射性废物。医用放射性废物是指在应用放射性核素的医学实践中产生的放射性比活度或放射性浓度超过国家规定值的液体、固体和气载废物;清洁解控水平是由审管部门规定的、以放射性核素的活度或活度浓度表示的特定值,可用来判断放射性废物是否可以不再受审管部门的审管;例如常用的医用放射性核素清洁解控水平推荐为:<sup>18</sup>F (10 Bq)、<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup> (100 Bq)、<sup>131</sup>I (100 Bq)<sup>[4]</sup>。

放射性废物处理:按长半衰期和短半衰期分别收集,并给予适当屏蔽;住院接受放射性药物治疗患者的被服和个人用品使用后应做去污处理,经表面污染监测合格后方可做一般处理;使用过的放射性药物注射器、绷带和敷料,应做放射性废物处理<sup>[8]</sup>。

#### 四、人员的放射防护

1.工作人员的防护。(1)放射性诊断药物操作。

①单光子放射性药物(<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>)操作室。医疗机构购置的<sup>99</sup>Mo-<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>核素发生器应存放在带辐射防护的通风橱中;由生产厂家制剂送货,确保放射性药品运输、保管的安全性;淋洗与标记过程主要防护  $\gamma$  射线,必须在带防护措施的通风橱内进行,淋洗好的新鲜<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>应置于通风橱内,记录时间、放射性活度和浓度,以用于其他<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>标记化合物的制备;放射性药物直接在通风橱内进行标记和封装,需配有防护罐等用于运输的防护用品<sup>[5,9]</sup>。②正电子放射性药物(<sup>18</sup>F等)操作室。小型医用回旋加速器具有非常完善有效的自屏蔽系统,房间墙体需用一定厚度的混凝土或使用迷路通道;回旋加速器需安装门机联锁装置;回旋加速器运行期间禁止打开房门进入,需定期监测回旋加速器房间和周围工作环境的辐射水平,如发现异常应立即停止回旋加速器运行<sup>[5,9]</sup>。药物的标记和分装有必要在具有屏蔽的热室或带有屏蔽防护的通风橱中进行,同时每种正电子药物的标记与合成应置于单独的热室<sup>[9]</sup>。

(2)放射性治疗药物操作。①标记与分装。工作人员佩戴个人剂量仪,穿戴防护服及安全防护设

备。离开工作场所时测量全身剂量,发现衣服污染时应脱下衣服放入专门的衰变室,如发现头发和脖颈等暴露处污染应及时到专用洗澡间洗澡;放射性药物运往分装给药室,开启通风系统,按照操作规程分装给药<sup>[9]</sup>。②籽源植入防护。最常用的植入籽源为<sup>125</sup>I 和<sup>103</sup>Pd。科室应具有符合国家环保和职业卫生标准要求的场所、设施和设备,需有专职或兼职安全和防护管理人员,并配备必要的防护用品和监测仪器;有健全的安全和防护管理规章制度、辐射事故应急措施<sup>[10]</sup>。

(3)核医学显像和脏器功能测定。SPECT 及 PET 检查室因与患者保持一定距离,屏蔽防护要求远低于操作室的近距离实践。脏器功能测定室所用的活度在清洁解控水平以下,无需进行相关的防护,但需注意室外辐射对工作的影响。

2.患者的防护。(1)核医学影像诊断。①成人。放射性药物注入患者体内后,该患者即成为移动的放射源,会对接近其的医护人员或陪护人员造成不必要的外照射,其排泄物会对环境造成一定污染。ICRP<sup>[6]</sup> 特别指出核医学影像所用的短半衰期核素防护的重要性相对较低,因此在进行核医学诊断后,很少需要对公众采取防护措施。考虑到体内残留的放射性核素,建议尽可能增大其他人 与注药患者接触的距离、减少接触时间,特别是婴幼儿和孕妇;核医学科应设置注药患者专用候诊室和卫生间,限制注药患者随意走动。②儿童。对儿童施行核医学检查的正当性更应慎重判断;仅当有明显的临床指征时,才可对儿童施行放射性核素显像,并应根据受检儿童的体质量、身体表面积或其他适用的准则减少放射性药物使用量,还应尽可能避免使用长半衰期的放射性核素<sup>[4]</sup>。③妊娠和哺乳期女性。除有明显临床指征外,应尽可能避免孕妇使用放射性核素<sup>[4]</sup>。哺乳期女性服用放射性药物后,应建议其酌情停止喂乳,直至其体内放射性药物分泌量不再给婴儿带来不可接受的剂量为止。常用的临床核医学显像相关规定见表 2。

(2)核素治疗。患者服药前,执业医师及辅助人员有责任将放射防护知识以口头或书面形式告知患者或其家属。ICRP<sup>[6]</sup> 特别指出,<sup>131</sup>I 是对医务人员、公众成员、陪护者和亲属产生辐射的核素,其他用于治疗的通常是造成极小危险的纯  $\beta$  放射性核素(如<sup>32</sup>P、<sup>89</sup>Sr 和<sup>90</sup>Y);剂量限值适用于公众和医务人员由于接触患者所受到的照射,对于婴幼儿及不直接陪护或慰问患者的探视人员,应当视同公众成

表 2 常用临床核医学显像对中断哺乳的建议

显像方法	放射性核素	施用活度 (MBq/mCi)	对中断哺乳 的建议
SPECT 显像	<sup>99m</sup> Tc <sup>m</sup> O <sub>4</sub> <sup>-</sup>	185/5	中断 4 h <sup>[7,11-12]</sup>
	<sup>99m</sup> Tc <sup>m</sup> -MAA	148/4	中断 12 h <sup>[7,11-12]</sup>
	<sup>99m</sup> Tc <sup>m</sup> -RBC(体内法)	740/20	中断 12 h <sup>[7,11-12]</sup>
	<sup>99m</sup> Tc <sup>m</sup> -WBC	185/5	中断 48 h <sup>[7,11-12]</sup>
	<sup>99m</sup> Tc <sup>m</sup> -DTPA	740/20	不用中断 <sup>[7,11-12]</sup>
	<sup>99m</sup> Tc <sup>m</sup> -MIBI	1 110/30	不用中断 <sup>[7,11-12]</sup>
PET 显像	<sup>99m</sup> Tc <sup>m</sup> -MDP	740/20	不用中断 <sup>[7,11-12]</sup>
	<sup>18</sup> F-FDG	370/10	中断 2 h <sup>[7]</sup>
	<sup>13</sup> N、 <sup>15</sup> O、 <sup>11</sup> C	-	不用中断 <sup>[7,12]</sup>

注:“-”为无临床实施数据限制

员;住院患者应在给药完成后即刻返回病房,不能在除病房外的其他地方逗留。患者应在其体内的放射性物质活度降至一定水平后才能出院或解除限制,出院后需避免或减少与孕妇和儿童的近距离接触。

①成人。放射性药物治疗前的最优化措施<sup>[11]</sup> 包括确定患者身份、施药前患者的准备和施药程序等,判断患者是否怀孕或处于哺乳期,给予患者口头或书面指导,以减少其对家庭成员和公众所造成的照射,要特别注意防止患者呕吐物和排泄物造成的放射性污染。服药后的最优化措施<sup>[11-12]</sup>:<sup>131</sup>I 主要经过泌尿系统排泄,排泄高峰为<sup>131</sup>I 治疗后 24~48 h;充分饮水(3~4 L/d)有助于<sup>131</sup>I 经泌尿系统排泄;使用缓泻剂促进肠道蠕动,可进一步降低对肠道的辐射。此外,还应注意血液、黏液、汗液、呕吐物等对患者自身、相关周围陪护人员及环境的污染。②妊娠和哺乳期女性。一般情况下,孕妇不应接受<sup>131</sup>I 治疗(挽救生命除外);为挽救危重甲状腺功能亢进症(简称甲亢)患者生命而进行的<sup>131</sup>I 治疗,若胎儿接受辐射剂量不超过 100 mGy,可不终止妊娠;基于公众照射的剂量限值为 1 mSv/年,因此建议以新生儿接受 1 mSv 剂量为上限来推荐是否需要中断哺乳<sup>[11]</sup>。我国<sup>[11]</sup> 和 IAEA<sup>[7]</sup> 均建议中断哺乳。考虑到婴儿对射线的敏感性约为成人的 3 倍,实际给出中断哺乳的建议以 0.3 mSv 为上限,按母乳中<sup>131</sup>I 有效半衰期为 14 h 推算,ICRP<sup>[12]</sup> 建议中断哺乳 3 周(无实施活度限制)。③备孕女性。目前暂无证据证明<sup>131</sup>I 治疗影响育龄期女性的生育能力<sup>[13]</sup>;但有报道<sup>[14]</sup> 称成年男性甲状腺癌患者<sup>131</sup>I 治疗后可能出现一过性睾丸功能紊乱。<sup>131</sup>I 治疗前需对育龄期女性行妊娠测试(通常在治疗前 72 h 内),鉴于<sup>131</sup>I 可通过胎盘并经乳腺分泌(分泌量可达母体摄入放射性活度总量的 38%)<sup>[15]</sup>,应告知患者妊娠为<sup>131</sup>I 治疗的禁忌证。我

国<sup>[11]</sup>和 IAEA<sup>[7]</sup>建议甲亢患者<sup>131</sup>I 治疗(实施最大活度为 800 MBq)后避孕 4 个月,甲状腺癌患者<sup>131</sup>I 治疗(实施最大活度为 5 000 MBq)后避孕 4 个月;ICRP<sup>[6]</sup>建议甲状腺癌患者<sup>131</sup>I 治疗(实施最大活度为 6 000 MBq)后避孕 4 个月。

3. 公众的防护。(1)核医学影像诊断。我国<sup>[11]</sup>和国际机构<sup>[6,16]</sup>均推荐和有关剂量约束值相应的施用量值。对于应用<sup>99m</sup>Tc<sup>m</sup>及其标记物的显像患者,施用量不超过 28 000 MBq,对其探视者及家属等周围人群的辐射剂量不会大于 5 mSv 剂量约束;同理,对于施用量不超过 5 600 MBq 时,对其周围人群的剂量不会大于 1 mSv 剂量约束;对于应用<sup>18</sup>F-FDG 显像患者不会产生对其探视者及家属等周围人群的辐射剂量约束(无施用量的限制)。

(2)核医学核素治疗。核医学单位应向探视者和家庭成员提供有关的辐射防护措施(如限定接触或接近患者的时间等)及相应的书面指导,并对其所受剂量加以约束<sup>[6]</sup>,通常的公众剂量限值不适用于核素治疗患者的探视者和家庭成员,相应的剂量约束要求见表 3。

表 3 对接触接受<sup>131</sup>I 治疗后患者人员的剂量约束要求<sup>[6]</sup>

人员类型	剂量约束 (mSv/每次)
到访人员(非看护人员)	0.3
家庭成员及亲友	
孕妇	1.0
2 岁及以下儿童	1.0
3~10 岁儿童	1.0
10 岁以上,60 岁以下	3.0
60 岁及以上	15.0

接受<sup>131</sup>I 治疗的患者体内放射性活度降至 400 MBq 方可出院,以控制其家庭与公众成员可能受到的辐射<sup>[5,11]</sup>。考虑到准确测量患者体内放射性活度不能在医疗机构中实际操作,参照国外标准和国内相关数据<sup>[17-18]</sup>,可采取相应手段进行直接有效的估算,如全身<sup>131</sup>I 显像(SPECT)计数的换算或距离 1 m 处剂量当量率降至 20  $\mu$ Sv/h 以下等。考虑到患者与接触人员的距离可能小于 3 m,此时剂量与距离不遵从平方反比关系,需根据具体接触情况和剂量当量率数值来确定<sup>[19]</sup>。

我国<sup>[11]</sup>和国际机构<sup>[6,16]</sup>推荐了和有关剂量约束值相应的<sup>131</sup>I 施用量值。对于甲亢患者,<sup>131</sup>I 施用量不超过 1 200 MBq,对其探视者及家属的辐射剂

量不会大于 5 mSv 剂量约束;同理,对于<sup>131</sup>I 施用量不超过 240 MBq,对其探视者及家属的剂量不会大于 1 mSv 剂量约束。因此,对于住院或出院的决定,应基于个体化判断,不应只考虑患者体内的残留放射性活度,还应该考虑其他多种因素:如患者与他人的接触方式、患者意愿、职业和公众照射、家庭考虑、费用和环境因素等。ICRP<sup>[6]</sup>没有明确建议接受高活度放射性药物治疗的患者应住院,而是建议应遵从公众剂量限值和对其他人的剂量约束,进而限制其社会活动,以最优化的方式来实现上述目标。

利益冲突 无

本文直接使用的缩略语:DTPA (diethylene triamine pentaacetic acid), 二乙撑三胺五乙酸;FDG (fluorodeoxyglucose), 脱氧葡萄糖;MAA (macroaggregated albumin), 聚合白蛋白;MDP (methylene diphosphonate), 亚甲基二膦酸盐;MIBI (methoxyisobutylisonitrile), 甲氧基异丁基异腈

编写委员会成员名单:陆克义(山西医科大学第一医院核医学科);耿建华(中国医学科学院肿瘤医院核医学科);匡安仁(四川大学华西医院核医学科);张永学(华中科技大学同济医学院附属协和医院核医学科);石洪成(复旦大学附属中山医院核医学科);杨志(北京大学肿瘤医院核医学科);何作祥(中国医学科学院阜外医院核医学科);丁虹(《中华核医学与分子影像杂志》编辑部);谭建(天津医科大学总医院核医学科);李林(四川大学华西医院核医学科);王跃涛(苏州大学附属第三医院核医学科);马庆杰(吉林大学中日联谊医院核医学科);赵军(同济大学附属东方医院核医学科);王雪梅(内蒙古医科大学附属医院核医学科);林岩松(中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院核医学科);刘纯(兰州大学第一医院核医学科);杨小丰(新疆维吾尔自治区人民医院核医学科);李小东(天津医科大学第二医院核医学科);王红亮、武志芳、刘建中、胡光、鄢敏(山西医科大学第一医院核医学科);李亚明(中国医科大学附属第一医院核医学科);李思进(山西医科大学第一医院核医学科)

(本文为《临床核医学辐射安全专家共识》精简版,《临床核医学辐射安全专家共识》完整版将由中华医学会核医学分会以手册形式发布)

## 参 考 文 献

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation: UNSCEAR 2000 Report, Annex B (Exposures from natural radiation sources), Annex C (Exposures to the public from man-made sources of radiation) [R]. New York: UNSCEAR, 2000.
- [2] 潘自强,刘森林.中国辐射水平[M].北京:原子能出版社,2010:15-40.  
Pan ZQ, Liu SL. Radiation levels in China[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 2010:15-40.

- [3] 《核与辐射安全》编写委员会.核与辐射安全[M].北京:中国环境出版社, 2015: 395-396.  
Writing Committee of Nuclear and Radiation Safety. Nuclear and radiation safety[M]. Beijing: China Environmental Press, 2015: 395-396.
- [4] 中华人民共和国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, 2002.  
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[S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.
- [5] 中华人民共和国卫生部. GBZ 120-2006 临床核医学放射卫生防护标准[S].北京:中国标准出版社, 2006.  
Chinese Ministry of Health. GBZ 120-2006 Radiological protection standards for clinical nuclear medicine[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.
- [6] International Commission on Radiological Protection. Release of patients after therapy with unsealed radionuclides: ICRP Publication 94[R]. Stockholm: ICRP, 2004.
- [7] International Atomic Energy Agency. Applying radiation safety standards in nuclear medicine: safety reports series No.40[R]. Vienna: IAEA, 2005.
- [8] 中华人民共和国卫生部. GBZ 133-2009 医用放射性废物的卫生防护管理[S].北京:中国标准出版社, 2009.  
Chinese Ministry of Health. GBZ 133-2009 Radiological protection management for medical radioactive waste[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. WS 457-2014 医学与生物学实验室使用非密封放射性物质的放射卫生防护基本要求[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 457-2014 Basic requirements of radiological protection for using unsealed radioactive material in medical and biological laboratory[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ 178-2014 低能 $\gamma$ 射线籽源植入治疗放射防护要求与质量控制检测规范[S].北京:中国标准出版社, 2014.  
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GBZ 178-2014 Specifications for radiological protection and quality control in implanted treatment of low energy  $\gamma$ -ray seed sources[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [11] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB 16361-2012 临床核医学的患者防护与质量控制规范[S].北京:中国标准出版社, 2012.  
Chinese Ministry of Health, Standardization Administration of China. GB 16361-2012 Specification for patients radiological protection and quality control in nuclear medicine[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.
- [12] American Thyroid Association Taskforce On Radioiodine Safety, Sisson JC, Freitas J, et al. Radiation safety in the treatment of patients with thyroid diseases by radioiodine  $^{131}\text{I}$ : practice recommendations of the American Thyroid Association[J]. Thyroid, 2011, 21(4): 335-346. DOI:10.1089/thy.2010.0403.
- [13] Sawka AM, Lakra DC, Lea J, et al. A systematic review examining the effects of therapeutic radioactive iodine on ovarian function and future pregnancy in female thyroid cancer survivors[J]. Clin Endocrinol (Oxf), 2008, 69(3): 479-490. DOI:10.1111/j.1365-2265.2008.03222.x.
- [14] Sawka AM, Lea J, Alshehri B, et al. A systematic review of the gonadal effects of therapeutic radioactive iodine in male thyroid cancer survivors[J]. Clin Endocrinol (Oxf), 2008, 68(4): 610-617. DOI:10.1111/j.1365-2265.2007.03081.x.
- [15] Leide-Sveghorn S, Ahlgren L, Johansson L, et al. Excretion of radionuclides in human breast milk after nuclear medicine examinations. Biokinetic and dosimetric data and recommendations on breastfeeding interruption[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2016, 43(5): 808-821. DOI:10.1007/s00259-015-3286-0.
- [16] International Atomic Energy Agency. Release of patients after radionuclide therapy: safety reports series No.63[R]. Vienna: IAEA, 2009.
- [17] 王任飞, 谭建, 张桂芝, 等. 分化型甲状腺癌患者 $^{131}\text{I}$ 治疗后外部剂量当量率与体内放射性活度残留量的相关性[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2016, 36(5): 394-397. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2016.05.004.  
Wang RF, Tan J, Zhang GZ, et al. Correlation between external dose equivalent rate and residual radioactivity in patients with differentiated thyroid carcinoma after  $^{131}\text{I}$  therapy[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2016, 36(5): 394-397. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2016.05.004.
- [18] 汤敏敏, 刘建中, 武志芳, 等. 分化型甲状腺癌患者 $^{131}\text{I}$ 治疗后体内残留放射性活度的评估[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(4): 299-302. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2015.04.016.  
Tang MM, Liu JZ, Wu ZF, et al. Estimation of residual activity in patients with differentiated thyroid cancer after administration of  $^{131}\text{I}$  for therapy[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2015, 35(4): 299-302. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2015.04.016.
- [19] 陆克义, 段炼, 李险峰, 等.  $^{131}\text{I}$ 治疗甲状腺疾病后对周围人群的辐射安全性评价[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2007, 27(2): 184-187. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2007.02.026.  
Lu KY, Duan L, Li XF, et al. Radiation safety evaluation of  $^{131}\text{I}$  after treatment of patients with thyroid diseases for surrounding people[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2007, 27(2): 184-187. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2007.02.026.

(收稿日期:2017-01-16)