

国际放射防护委员会第 94 号出版物

# 开放性放射性核素治疗患者 免住院建议

康增寿 林岩松 译

康增寿 审校

中国原子能出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

开放性放射性核素治疗患者免住院建议 / 加拿大国际放射防护委员会著; 康增寿, 林岩松译. --北京: 中国原子能出版社, 2023.9

书名原文: Release of patients after therapy with unsealed radionuclides

ISBN 978-7-5221-2982-2

I. ①开… II. ①加…②康…③林… III. ①放射性同位素—放射治疗学 IV. ①R817.5

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 175027 号

## ICRP Publication 94

Release of patients after therapy with unsealed radionuclides

Copyright © 2004 ICRP. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

本中文简体字版经国际放射防护委员会许可翻译, 由中国原子能出版社出版。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2023-4189

## 开放性放射性核素治疗患者免住院建议

---

出版发行 中国原子能出版社 (北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 赵 艳

装帧设计 邢 锐

责任校对 冯莲凤

责任印制 赵 明

印 刷 北京九州迅驰传媒文化有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 5.5

字 数 98 千字

版 次 2023 年 9 月第 1 版 2023 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5221-2982-2 定 价 30.00 元

---

发行电话: 010-68452845

版权所有 侵权必究

# 中文版前言

国际放射防护委员会（ICRP）出版物表述的放射性防护标准、原则是基于辐射防护领域的最高循证医学证据提出，并受到各国放射防护人员的认可，具有技术权威性和指导性。

ICRP 于 2004 年出版的第 94 号出版物（Release of patients after therapy with unsealed radionuclides）科学地论述了开放性放射性核素治疗患者免住院的建议，受到发达国家的赞同及施用；ICRP 第 94 号出版物已被国际原子能机构（IAEA）收录为国际原子能机构安全系列第 63 号报告，成为放射防护领域的权威性指南。

基于各国的情况不同，ICRP 第 94 号出版物并没有提出明确的放射性剂量限值来建议每位患者经过开放性放射性核素治疗后的“住院”或“免住院”，而是指出应当基于各国及患者的病情等个体化判断，如除患者体内残留的放射性活度之外，还应考虑许多其他因素；并且强调“住院”或“免住院”各有利弊，如住院可减少对公众和亲属的照射，但将增加对医院员工的照射，同时“住院”往往涉及显著的心理负担、费用负担和其他代价，应当予以分析和做出正当性判断。如果旅行时间限于几个小时，接受放射性碘治疗之后患者的旅行很少对其他旅客造成危害。

相信这样细化的阐述将有助于各级监管部门了解国际权威放射性管理机构针对开放性放射性核素治疗辐射防护管理的相关建议，客观认识放射性核素治疗的危害，在学会及相关核医学、辐射剂量学等专家团队的配合下制定切合我国国情的辐射防护监管法规及规范。让更多的患者能够从有效的放射性核素治疗中获益，进而改善患者的生存质量及预后。

ICRP 第 94 号出版物《开放性放射性核素治疗患者免住院的建议》由北

京协和医院的康增寿教授和林岩松教授精心、严谨地翻译，与核医学同仁见面，为我国开放性放射性核素治疗患者提供了国际权威指南，为改善提高我国放射防护步入世界水平做出贡献，在此向他们表示衷心的感谢，并向他们致以崇高的敬意。

中华医学会核医学分会

汪 静 李思进

2023 年 8 月

# 摘要

## 开放性放射性核素治疗患者免住院建议

国际放射防护委员会（ICRP）第 94 号出版物

2004 年 3 月委员会批准

用开放性放射性核素对患者进行某些核医学治疗之后，可能需要采取预防措施以限制对其他人员的剂量，而接受诊断性核医学程序之后很少需要采取这些措施。 $^{131}\text{I}$  对医务人员、公众成员、陪护者和亲属造成的剂量最大。其他用于治疗放射性核素通常是造成极小危险的纯  $\beta$  辐射体（例如  $^{32}\text{P}$ ， $^{89}\text{Sr}$  和  $^{90}\text{Y}$ ）。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。此前，ICRP 已经建议对患者的亲属、探视者和在家中的陪护者在最优化时采用每次接触数个毫希沃特的源相关剂量约束值，而不采用剂量限值。本报告建议婴幼儿及不直接陪护或安慰患者的探视人员，应当视同公众成员（即：适用公众的剂量限值）。

对其他人员的照射方式包括：外照射、由于污染导致的内照射、经环境途径造成的照射。成年人从患者处接受的剂量主要是外照射。患者唾液所致的婴儿和儿童受污染，可使其甲状腺受到显著的剂量。重要的是，应当避免污染儿童和孕妇。在接受放射性碘治疗之后，母亲必须立即停止哺乳。许多类型的开放性放射性核素治疗不适用于孕妇。妇女在接受放射性核素治疗后的一定时期内应避免怀孕。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  是接受核医学诊疗的患者通过排泄物排放到环境中的主要放射性核素，但它很短的半衰期限制了其重要性。第二位的排放物是  $^{131}\text{I}$ ，在医疗使用后可以在环境中探测到，但是没有显著的环境影响。在治疗后存储患者的尿液似乎益处甚微。排放到现代污水管道系统的放射性核素对管道工人和公众可能导致的剂量远低于公众剂量限值。

做出一个患者住院或免住院的决定，应当基于个体化的判断。除了患者体内残留的放射性活度之外，还应考虑许多其他因素。住院可减少对公众和亲属的照射，但将增加对医院员工的照射。住院往往涉及显著的心理负担、费用负担和其他代价，应当予以分析和正当性判断。如果旅行时间限于几个小时，接受放射性碘治疗之后患者的旅行很少对其他旅客造成危险。

环境辐射检测或其他辐射检测设备通常能够用于检测接受放射性碘治疗后几周的患者。此类探测器的操作人员应当接受专门培训，以鉴别和处理核医学患者。医院应当保存用开放性放射性核素治疗的详情记录，并将此记录连同书面的注意事项说明交给患者。如果患者在接受开放性放射性核素治疗后几个月内死亡，可能需要采取特定的预防措施。

©2004 ICRP。Elsevier 有限公司出版。版权所有。

关键词：核医学；辐射防护；放射性碘；剂量约束；放射治疗

# 特约评论

## 核医学诊疗后的放射防护

放射性物质的医学应用已有一百多年的历史。当今，辐射的医学应用是最大量且持续增长的人工辐射照射来源。核医学已经成为诊断和治疗中的一个重要专业，有将近一百种不同的程序，事实上已可提供人体几乎每一个主要器官系统的信息。

据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）估计，全世界每年实施了超过 3 000 万例次的核医学诊断程序和近 40 万例次的放射性药物治疗程序（UNSCEAR，2000）。20 世纪 40 年代引入了放射性碘，虽然有很多其他的放射性药物应用于核医学，但  $^{131}\text{I}$  一直是核医学中最重要的放射性核素。

开放性放射性核素的应用可导致对患者和其他人员受照射，对于来自患者的照射，有必要针对公众成员、患者亲属和陪护者制定放射防护指南。国际放射防护委员会（ICRP）此前未曾为开放性放射性核素治疗后患者免住院须遵从的标准提供建议，也未为需要住院的活度水平提供建议。相反，委员会依据的是公众剂量限值 1 mSv/a，以及对患者亲属、探视者和在家中的陪护者应用每次接触 5 mSv 的剂量约束值（ICRP，1991，1996）。不同国家对 ICRP 建议的解释差异很大。剂量约束值往往被不恰当地解释成更为严格的年剂量限值。

做出一个患者住院或免住院的决定，应当基于个体化的判断，考虑诸如患者体内残留活度、患者的意愿、职业和公众照射、家庭考虑、代价和环境等因素。1999 年，第三分委员会成立了一个专题组（TaskGroup）以审视这一主题。本报告是 ICRP 各分委员会起草的系列文件之一，这些文件为委员会起草新的放射防护建议书提供了建议。

本报告同时涵盖了诊断程序和治疗程序，但重点集中于  $^{131}\text{I}$ ， $^{131}\text{I}$  是应用开放性放射性核素治疗而使工作人员和患者亲属受到照射的主要来源。在诊

断性程序之后很少需要对公众采取预防措施，但在实施某些治疗性程序之后，可能需要对公众和患者亲属受到的剂量加以限制。

2004年4月，委员会在维也纳举行的会议上批准了专题组的报告及其建议。

辐射照射有诱发胎儿、婴儿和儿童甲状腺癌的显著危险。因此，应当特别做出努力，以避免此类人员受到照射。

接受放射性碘治疗的患者导致其他人的剂量主要是外照射造成的。不管考虑的是何种放射性核素和什么样的环境途径，其他常见的治疗用开放性放射性核素导致的剂量都远低于公众剂量限值或应用于陪护者的剂量约束值。

第三分委员会起草的本报告为患者是否住院或免住院提供了很有价值的指南。住院可以减少对公众和患者亲属的照射，但将增加对医院员工的照射剂量，且导致明显的费用代价，对此需要加以分析并进行正当化判断。如果旅行时间限于几个小时，接受放射性碘治疗之后患者的旅行很少对其他旅客造成危险。对患者离院后的限制，应重点考虑与婴儿和儿童的接触。现在委员会建议对婴幼儿和偶尔探视者适用公众剂量限值 1 mSv/a，而不用每次接触 5 mSv 的剂量约束值。

许多放射性药物可通过母乳转移到婴儿体内。委员会建议，在大多数核医学诊疗程序之后，应停止哺乳，至少在短期内停止哺乳。接受治疗剂量的放射性碘后，应当完全停止哺乳。否则，放射性碘可能诱发婴儿的永久性甲状腺功能减退症，或者增加其患甲状腺癌的危险。

几项研究表明，除接触患者尿液外，放射性碘的污染危险虽然不可忽略，但通常很低。本报告表明，只要遵循适当的管理规定，即使没有贮存尿液，开放性放射性核素治疗后患者的排泄物经污水管道排放所致照射，仍远远低于职业和公众辐射剂量限值。贮存放射性碘核素治疗患者的尿液似乎益处甚微。排放到现代污水管道系统的放射性核素，对污水管道工和公众导致的剂量，远低于公众剂量限值。

委员会并未明确指出，在高活度放射性药物治疗后，尿液应当存储或患者应当收住院。相反，委员会建议，应当遵从公众剂量限值和对其他人的剂量约束，并继之以最优化来实现上述目标。关于核医学治疗后患者的免住院，最优化及其对必要行为限制的影响，可能因人而异。

当前的探测仪器灵敏度很高，可检测到远低于可引起健康关注水平的辐射。在治疗后的几天或几周内，可探测到体内残留的放射性活度，探测设备





常用于检测接受放射性碘治疗后几周内的患者。此类探测器的操作人员应当接受专门培训，以鉴别和处理核医学患者。患者接受治疗后，许多医师会给患者一份信息卡，注明给予的医学处理，但这可能不被保安人员所认可。最好的建议是患者不要在大型公共场所出现，除非他们自愿经历某些不便。

第三分委员会的这份报告阐述了与开放性放射性药物治疗后的患者免住院问题相关的建议，也给出了开放性放射性核素给药治疗后患者的免住院原则。

**LARS-ERIK HOLM**



# 前 言

多年以来，国际放射防护委员会（ICRP），以下简称“委员会”，出版了多种报告，对医学中的放射防护与安全提出了建议。其中第 73 号出版物（ICRP, 1996）是对该领域的一个纵览。这些报告概述了放射防护的一般原则，并针对电离辐射在医学和生物医学研究领域的不同应用，就如何应用这些原则提出了建议。

这些报告中的大部分都具有通用性质，委员会也希望，能够涉及尚有困难的一些特定情况。可以预期，报告针对这些问题而写，书写风格又使在日常工作中可能直接有关的那些人员都能理解，而且所做出的努力，能保证这些报告广泛传播。

1997 年 9 月在英国牛津举行的委员会会议上，启动了一系列报告的起草工作。根据 ICRP 第三分委员会的建议，委员会设立了数个专题组（Task Group）来起草医用辐射防护中的专题报告。

诸如第 84、85、86、87、93 号出版物已经出版，本报告继承了该系列文件简明扼要的风格。另有几份建议性报告正在准备和起草过程中。

专题组起草的这份关于开放性放射性核素治疗后患者免住院问题的报告，是在 1999 年 9 月于俄罗斯联邦圣彼得堡市召开的委员会会议上发起的。当初提出的工作内容包括：(i) 检验对患者亲属及重要事件的剂量约束值；(ii) 对照剂量率考虑，检验当前的应用情况及剂量；(iii) 对照剂量，分析应用不一致方法的重要性及代价；(iv) 考虑将公众剂量限值应用于依靠作为辐射源的患者而生活的儿童；(v) 考虑对涉及死亡、尸检、尸体火化和掩埋的建议；(vi) 考虑到不同国家可能采取不同的实际解决方案，为不同国家的不同治疗类型提供易获取的建议；(vii) 要考虑所有相关的源，包括铯、钷、磷和钷。在 2000 年 10 月于美国马里兰州毕士大（Bethesda）举行的委员会会议上，修订完善了当初的内容，使其包括了基础理论的扩展论述，关于环境途径的讨论，关于供选方法的代价-利益讨论，以及对备受关注的伦理问题的讨论。

本专题组由以下人员组成：

L. K. Harding（主席）	A. Aarkrog	D. Ash
J. M. Cosset	S. Ebdon-Jackson	Y. Sasaki
B. Westerholm		

通讯成员如下：

K. Endo	A. Martinez	K. Parthasarathy
---------	-------------	------------------

在本报告准备期间，第三分委员会成员是：

F. A. Mettler, Jr.（主席）	J. -M. Cosset	C. Cousins
M. J. Guibertean	I. Gusev	L. K. Harding（秘书）
M. Hiraoka	J. Liniecki（副主席）	S. Mattsson
P. Ortiz-Lopez	L. V. Pinillos-Ashton	M. M. Rehani
H. Ringertz	M. Rosenstein	C. Sharp
W. Yin		

本报告旨在服务于上述目标。为尽可能应用方便，本报告的格式与在 ICRP 年度报告（AnnualsoftheICRP）中，委员会出版物常用的格式，在几个方面有所不同。

本报告经委员会在 2004 年 3 月通过通信投票方式批准出版。

## 要 点

- 在进行核医学诊断之后，很少需要对公众采取防护措施。然而，在某些核医学治疗之后，对公众、患者亲属和其他人员受到的剂量可能需要加以限制。

- 由于  $^{131}\text{I}$  是经常使用的高能  $\gamma$  辐射体，物理半衰期为 8 d，在开放性放射性核素给药治疗后，对医务人员、公众和患者亲属造成的受照剂量最大。治疗用其他核素（例如  $^{32}\text{P}$ ， $^{89}\text{Sr}$  和  $^{90}\text{Y}$ ）主要是  $\beta$  辐射体，造成的危险相当低。

- 当接受放射性碘治疗的患者免住院时，核医学治疗需要加以控制的主要因素是他人所受的外照射。然而，源于这些患者而使成年人受到的典型剂量诱发肿瘤的危险非常低。

- 对于胎儿、婴幼儿和其他 20 岁以下人员，辐射照射具有诱发甲状腺癌的显著危险。因此，需要采取特别的预防措施，以避免婴儿、儿童和孕妇受到污染。对患者亲属的内污染最可能发生在治疗之后 1~7 d 内。其他人受到内污染的危险显著低于外照射。对成年陪护者和亲属而言，由于摄入高活度  $^{131}\text{I}$  引起甲状腺功能减退症的可能性极小。

- 由于医学应用，在环境中可检测到很低活度的  $^{131}\text{I}$ 。即使将  $^{131}\text{I}$  直接排放到污水管道系统中，由于其相当短的物理半衰期，导致公众和管道工人的剂量远低于公众剂量限值，也低于其他源导致的剂量。由于开放性放射性核素的医学应用而排放的放射性核素水平不会产生环境影响。

- 对于 ICRP 为开放性放射性核素治疗后患者免住院建议的剂量限值和剂量约束值，不同国家有不同的解读。这些建议包括对患者的陪护者和亲属使用每次接触数个毫希沃特的剂量约束值，不适用公众剂量限值。这一剂量约束往往被不恰当地解读成更为严格的年剂量限值。

- ICRP 现在建议的每次接触数个毫希沃特的剂量约束值，不适用于婴幼儿和偶尔探视者。相反，对他们应适用 1 mSv/a 的公众剂量限值。

- 一些主管部门仅要求依据患者体内残留活度决定是否继续住院，而未考虑包括适当的最优化在内的其他重要因素。ICRP 的建议并未明确规定在高活度放射性药物治疗后，应当存储尿液或患者应当收住院。相反，ICRP 建议

应当遵从公众剂量限值和对其他人的剂量约束值，并继之以最优化。

最近的出版物已经指出，一些主管部门用以决定患者住院或免住院的假设和模式可能高估了公众和陪护者受到的实际剂量。

- 患者住院或免住院的决策，应当根据每个人的情况。除了患者体内残留的放射性活度之外，还应考虑许多其他因素，包括患者的意愿、职业照射和公众照射、家庭考虑、家中的儿童、费用和环境因素。

- 接受放射性碘治疗后，绝对禁止授乳妇女继续哺乳。

# 目 录

1	引言	1
2	本报告的目的	2
3	核医学程序的类型和频度	3
3.1	甲状腺功能亢进症的治疗	4
3.2	甲状腺癌的治疗	4
3.3	骨转移癌的治疗	5
3.4	腔内治疗	5
3.5	真性红细胞增多症的治疗	5
3.6	动脉内治疗	6
3.7	放射免疫治疗	6
4	使用治疗性放射性药物后的辐射防护	7
5	目前对剂量限值和剂量约束的国际建议	9
6	$^{131}\text{I}$ 照射的关键途径	12
6.1	概述	12
6.2	来自患者的外照射剂量率	14
6.3	其他人员的污染	16
7	$^{131}\text{I}$ 对患者亲属、陪护者及公众照射危险的量值与性质	19
8	放射性碘的环境途径	22
9	开放性放射性核素治疗产生的放射性废物的处置	24
9.1	概述	24
9.2	贮存以待衰变	25
9.3	污水、污泥及焚化	26

9.4	填埋	28
<b>10</b>	<b>患者住院或免住院的决策</b>	<b>30</b>
10.1	概述	31
10.2	对医院员工的职业照射剂量	33
10.3	住院的心理代价	35
10.4	住院的代价 – 利益分析	35
10.5	患者旅行时对其他人的照射剂量	36
10.6	在边境、机场等处的辐射探测器	38
10.7	家庭环境中的照射	39
<b>11</b>	<b>关于免住院标准的国际和国家指导原则</b>	<b>44</b>
<b>12</b>	<b>抗体治疗</b>	<b>50</b>
<b>13</b>	<b>其他问题</b>	<b>51</b>
13.1	记录	51
13.2	死亡、尸检、尸体掩埋及火化	51
13.3	哺乳	54
13.4	孕妇	55
13.5	放射性核素治疗后的妊娠	56
<b>附录 A</b>	<b>甲状腺功能亢进症患者信息单示例</b>	<b>58</b>
<b>附录 B</b>	<b>放射性碘治疗后的辐射防护指导书示例</b>	<b>60</b>
<b>附录 C</b>	<b>接受放射性核素治疗的患者卡片示例</b>	<b>62</b>
	<b>参考文献</b>	<b>64</b>



# 1 引言

● 核医学治疗涉及开放性放射性核素的应用，并因此对公众成员、患者亲属和陪护者造成潜在照射。

(1) 放射性物质用于恶性、良性疾病的诊断和治疗已经有一百多年的历史。开放性放射性核素作为放射性药物，可通过注射、食入或吸入途径进入人体内，并可在体内迁移。开放性放射性核素在衰变或经各种途径（例如尿液）排出体内之前，都会聚集在机体组织中。本报告针对开放性放射性核素，主要是用于治疗开放性放射性核素。

(2) 核医学技术已经很成熟，但是仍需为保护患者亲属、陪护者和普通公众制定必要的预防措施提供进一步的指南，特别是根据 ICRP 1990 年建议书已将公众的年有效剂量限值降低到 1 mSv 的要求（ICRP, 1991, 1996）。

(3) 各国、甚至毗邻国家对如何执行 ICRP 1990 年建议书（ICRP, 1991）做出了完全不同的解读。此外，近年来已有许多科学研究，对从前为估算患者之外的其他人群剂量所作假设的适当性提出了怀疑。

(4) 放射性核素的环境途径及其潜在影响已经引起关注，与此同时，人们对于社会代价、患者及其家庭的社会问题的关注也与日俱增。管理规则应当以辐射照射的实际模式和其他重要因素为基础。

(5) 就本报告而言，应注意区别几种辐射剂量。器官吸收剂量的单位是戈瑞（Gy）或毫戈瑞（mGy）。1 戈瑞等于 100 拉德（rad）。职业照射和公众照射的剂量限值和剂量约束值使用经过组织权重因数和辐射权重因数加权后的有效剂量表示。有效剂量的单位是希沃特（Sv）。1 希沃特等于 100 雷姆（rem）。在大多数医学决策应用中，1 Gy 相当于 1 Sv。

## 2 本报告的目的

- 关于施予开放性放射性核素后患者免住院的管理规定在世界范围内千差万别。管理规则应以正确反映现况的假设或对 ICRP 建议的恰当解读为基础。

(6) 本报告旨在阐明与患者施予开放性放射性核素后免住院相关的放射防护问题。目的是促进对 ICRP 建议（特别是灵活的剂量约束）的一致理解和实际执行，供审管人员、医师、医学物理师、护士、技师和相应管理人员使用。这些原则适用于开放性放射性核素的诊断和治疗应用。然而，由于诊断应用所致对他人的照射水平远远低于治疗应用，本报告的重点集中于后者。

(7) 本出版物提供了患者接受开放性放射性核素服药后免住院的原则。作为基础，本出版物评述了所依据的科学研究，特别注重如何把实际的测量与已经成为现有管理规定和立法基础的以往假设联系起来。

(8) 本报告聚焦于患者从得到严格控制的环境中免住院的相关问题，而没有具体涉及遵医嘱住院的患者住院期间的的所有相关问题。对公众、患者亲属和陪护者所受吸收剂量的主要来源（即外照射）进行了广泛的检查。也包括其他人员受污染的途径和程度问题。

(9) 由于患者接受开放性放射性核素治疗是医务人员、患者亲属和陪护者受到照射的主要来源，本报告重点阐述因使用放射性碘所引起的照射途径和剂量。本报告也探讨了医用放射性碘排放到环境中的问题，并对医务人员、患者亲属和陪护者受到的剂量水平和潜在危险进行了评价。有关放射性碘对不同器官和组织产生的辐射剂量的信息见 ICRP 第 53 号出版物（ICRP, 1987）。

### 3 核医学程序的类型和频度

- 甲状腺功能亢进症和甲状腺癌的放射性碘治疗，是接受开放性放射性核素治疗的患者对公众和患者亲属造成照射的主要来源。

(10) 核医学是应用放射性药物进行患者诊断和治疗的一种医学专业。诊断性程序将短寿命的  $\gamma$  辐射体标记到一种适合的药物上并定位于特定的组织中。由此得到的影像既给出功能信息，也给出解剖学方面的信息。

(11) 常用的诊断性程序包括：判定转移存在的骨扫描及检测心肌灌注和功能的心肌扫描。据 UNSCEAR 估计，全世界范围内每年进行的诊断性核医学程序约有 3 200 万例 (UN-SCEAR, 2000)。用放射性药物进行诊断后，通常不需要对公众和患者亲属采取防护措施，因为大多数用于诊断的放射性核素的物理半衰期或生物半减期很短。但是，有两种例外情况，一是患者正在哺乳，二是利用  $^{131}\text{I}$  对患者全身扫描寻找甲状腺癌复发灶。

(12) 与诊断性应用相比，治疗程序的应用量相当少，但常应用活度较大、物理半衰期和生物半减期较长的放射性核素。用于治疗放射性药物通常是  $\beta$  辐射体，但也有许多  $\gamma$  辐射体。因此，放射性核素治疗对其他人的照射可能造成的剂量比诊断程序更大。

(13) 近十年来，放射性药物的应用几乎翻了一倍。据联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) 估计，在发达国家使用放射性药物治疗的频度从 1985—1990 年的 0.1% 增加至 1991—1996 年的 0.17%。全世界范围内，1985—1990 年间进行的开放性放射性药物治疗约有 210 000 例次，而 1991—1996 年间达到 380 000 例次。不同国家应用这类程序的实际频度与全球的数值相比可能差别很大，但是对于评估当地或地区的辐射防护可能更为有用。

(14) 开放性放射性核素治疗的常用形式有液体、胶囊的口服或静脉注射给药 (系统治疗)，或向闭合体腔内注入胶体悬液 (腔内治疗)。例如，系统治疗包括甲状腺功能亢进症或甲状腺癌的碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 化钠治疗，骨转移的  $^{89}\text{Sr}$  治疗。腔内治疗包括对胸腔或腹腔肿瘤的磷 ( $^{32}\text{P}$ ) 酸铬治疗，滑膜切除术后

的关节腔内注射。表 3.1 给出了 1991—1996 年间开放性放射性核素常用治疗程序的年度施行比率估计值。

**表 3.1 核医学治疗：1991—1996 年间有关程序的年度施行比率的估计值**

疾病	放射性药物及给药途径	发达国家百万人口中的施行程序例数	全世界百万人口中的施行程序例数
甲状腺恶性肿瘤	碘 ( <sup>131</sup> I) 化钠 (口服或静脉注射)	35	15
甲状腺功能亢进症	碘 ( <sup>131</sup> I) 化钠 (口服或静脉注射)	110	42
真性红细胞增多症	磷 ( <sup>32</sup> P) 酸盐 (口服或静脉注射)	3	1
骨转移癌	氯化锶 ( <sup>89</sup> Sr) (静脉注射)	5	2
	乙二胺四亚甲基膦酸钐 ( <sup>153</sup> Sm) (静脉注射)		
滑膜炎	钇 ( <sup>90</sup> Y) 胶体	7	2
	铒 ( <sup>169</sup> Er) 胶体 (关节腔内注射)		
恶性疾病 (不包括甲状腺癌和真性红细胞增多症)	间碘 ( <sup>131</sup> I) 苯基胍 (静脉注射) 钇 ( <sup>90</sup> Y) 胶体 (腔内注射)	不详	不详

注：数据来自联合国原子辐射效应科学委员会 (2000)。

(15) 对应用开放性放射性药物治疗的各种技术简要概述如下。

### 3.1 甲状腺功能亢进症的治疗

(16) 甲状腺功能亢进症最常见的病因是一种自身免疫性疾病 (Graves's 病)。不太常见的病因是, 单发毒性结节 (自主性腺瘤) 或多结节性甲状腺肿所致。上述这些疾病均可导致甲状腺激素过量产生, 从而引起相应症状。可以用抗甲状腺药物、手术或放射性碘进行治疗。在许多国家, 三分之二以上的患者最终接受放射性碘治疗。放射性碘在甲状腺中聚集, 破坏甲状腺细胞, 几周或几个月内使甲状腺激素的产量减少。这是核医学治疗的最常见形式。应当以清楚的书面信息单向患者解释治疗方面的问题 (见附录 A)。

### 3.2 甲状腺癌的治疗

(17) 甲状腺癌往往扩散到局部淋巴结、肺和骨。许多甲状腺癌组织能够蓄集碘, 虽然其能力低于正常甲状腺组织。大多数甲状腺癌的典型治疗方法

是将癌灶和全甲状腺手术切除，然后给予放射性碘治疗，以摧毁残留的能够浓集碘的癌细胞。要达到缓解或治愈，常常需要几个疗程的放射性碘治疗。这是第二种常见的开放性放射性核素治疗的形式。

### 3.3 骨转移癌的治疗

(18) 许多肿瘤（例如，前列腺癌和乳腺癌）易发生骨转移。这些转移可以引起剧烈疼痛，由于转移播散范围广泛，不能用体外射线束放疗来控制。他们对化疗的反应也不尽相同。许多放射性药物可以通过静脉定位于转移部位以达到姑息治疗的作用，但不能治愈。常用的放射性药物有  $^{89}\text{SrCl}_2$ 、 $^{186}\text{Re-HEDP}$ （1,1 羟基亚乙基二膦酸盐）、 $^{153}\text{Sm-EDTMP}$ （乙二胺四亚甲基膦酸盐）和  $^{117\text{m}}\text{Sn-DTPA}$ （二乙烯三胺五乙酸）。由于可能导致骨髓抑制，这些药物需慎重选用。由于它们半衰期相对较长，通常不用于终末期患者。

### 3.4 腔内治疗

(19) 腔内治疗通常用于在限定的解剖空间内广泛播散的肿瘤、关节炎及滑膜炎的治疗。有几种放射性核素用于这些类型的治疗。对于肿瘤，将磷 ( $^{32}\text{P}$ ) 酸钠或磷 ( $^{32}\text{P}$ ) 酸铬、金 ( $^{198}\text{Au}$ ) 胶体甚至  $^{131}\text{I}$  或  $^{90}\text{Y}$  标记的抗体直接注射到限定的解剖空间内（如胸膜腔或腹腔）进行治疗。对于关节炎和滑膜炎，直接将  $^{90}\text{Y-FHMA}$ （氢氧化铁超聚颗粒）、 $^{165}\text{Dy-FHMA}$ （氢氧化铁超聚颗粒）或  $^{169}\text{Er}$  胶体注入关节腔进行治疗。由于这些药物都是  $\beta$  辐射体，很少需要采取放射防护措施，除非病人死亡或放射性核素从体腔渗漏出来。

(20) 下面介绍的是不经常应用的放射性药物治疗方式。

### 3.5 真性红细胞增多症的治疗

(21) 真性红细胞增多症是一种相对罕见的疾病，具有骨髓产生红细胞和白细胞过多的特点。 $^{32}\text{P}$  经静脉给药，浓集于骨，发射  $\beta$  射线，引起轻度的骨髓抑制，从而减少大量的血细胞产生。由于  $^{32}\text{P}$  是一种纯  $\beta$  辐射体，对放射防护措施的需求可能是最低的。

## 3.6 动脉内治疗

(22) 某些肿瘤，如肝癌，由于肝内有大量血管分布，手术治疗或化疗疗效均欠佳。在这些情况下，可以从动脉放置导管并注入不溶的放射性标记粒子至肿瘤供血的动脉和毛细血管，给予局部的辐射剂量。这种方法通常是姑息的，很少能够治愈。 $^{131}\text{I}$  标记的油性造影剂、 $^{90}\text{Y}$  玻璃微球或树脂最为常用。

## 3.7 放射免疫治疗

(23) 放射免疫治疗是将放射性标记的抗体直接用于对抗肿瘤特异性抗原。这些药物的应用日益普及，目前已用于淋巴瘤的治疗。这些抗体用  $^{131}\text{I}$  或  $^{90}\text{Y}$  标记，以较大的活度由静脉注入体内。

## 4 使用治疗性放射性药物后的 辐射防护

- 开放性放射性核素治疗之后的放射防护问题，包括对医务人员、陪护者和普通公众的剂量建议。在诊断性核医学程序之后，很少需要对公众采取防范措施。然而，在某些治疗性程序之后，可能需要限制公众、患者亲属和其他人员受到的剂量。

- $^{131}\text{I}$  作为经常应用的高能  $\gamma$  辐射体，是对医务人员、公众、患者亲属和陪护者导致大剂量的开放性放射性核素。其他治疗用放射性核素（如  $^{32}\text{P}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  和  $^{90}\text{Y}$ ）通常为纯  $\beta$  辐射体，产生的危险要小得多。

(24) 用于治疗目的的放射性药物在所需辐射防护措施方面差别很大。某些放射性药物相对牢固地滞留在体内，排泄很少，主要或仅仅发射  $\beta$  射线，基本上都被患者体内组织吸收，对他人或环境危险很小。这类放射性核素包括  $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{186}\text{Re}$ 、 $^{90}\text{Y}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{198}\text{Au}$ 。患者接受高达 200 MBq 的  $\beta$  辐射体（如磷-32、锶-89 和钷-90）的治疗并不需要采取任何特殊措施来防止其他人员受照。因为骨转移癌的疼痛而使患者接受  $^{32}\text{P}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  或钐（ $^{158}\text{Sm}$ ）EDTMP（乙二胺四甲撑膦酸）的治疗是一种例外情况。虽然这些化合物的约 60%~70% 定位于骨骼，但是有一些将在注射后随尿液排出，在最初 6 h 和最初 48 h 分别排出可排泄部分的 35% 和 80%~90%，这种情形需要采取谨慎小心的卫生措施，以避免因尿液导致污染（British Institute of Radiology, 1999; Silberstein 和 Taylor, 1996）。

(25) 一些放射性核素在衰变之前有多种从体内排泄的路径，除了发射  $\beta$  射线外，还发射  $\gamma$  射线。如果不采取预防措施，这类放射性药物可导致其他人员和环境受到不必要的辐射照射和污染。这类放射性核素中最常见的就是  $^{131}\text{I}$ 。

(26) 用开放性放射性核素进行的各类核医学治疗的频度如表 3.1 所示。

从表中可清楚地看出甲状腺疾病的治疗占核医学治疗程序的 90%以上，且所用的放射性核素全部是  $^{131}\text{I}$ 。因而，出于实用目的，与患者接受开放性放射性核素治疗相关的公众和患者亲属的辐射防护问题绝大多数集中在  $^{131}\text{I}$  上。

(27) 治疗甲状腺功能亢进症患者的  $^{131}\text{I}$  施予活度范围，大致为 100~1 000 MBq。治疗甲状腺癌的施予活度，大约在 4 000~8 000 MBq 范围内。因患者接受  $^{131}\text{I}$  治疗而使公众成员和污水管道维修工受到的主要辐射是外照射。医务人员、患者亲属和陪护者受到的主要辐射同样是外照射，但也可能存在源于患者污染的照射。在制定建议或要求时，应当同时考虑这两种照射途径。



# 5 目前对剂量限值和剂量约束的国际建议

● 根据 ICRP 早先的建议，剂量限值适用于公众和医务人员所受源于患者的照射。对患者亲属、探视者和在家中的陪护者，适用每次接触数个毫希沃特的剂量约束值（不是剂量限值）。剂量约束是一种源相关的个人受照控制体系，应在此值之下实施防护最优化。

● 不同国家对 ICRP 所建议的剂量限值和剂量约束值的解读差异很大。某些国家将剂量约束值解读为更严格的年剂量限值。ICRR 的建议未明确规定患者接受核医学治疗后应当住院。

● 本报告建议，年幼儿童、婴儿及并不直接护理或安慰患者的探视人员应当作为公众成员对待，也就是说，应当遵守公众剂量限值。

(28) 1991 年，ICRP 发布了关于剂量限值和剂量约束值的建议，剂量限值归纳于表 5.1。

表 5.1 ICRP 建议的剂量限值<sup>a)</sup>

mSv/a

应用	职业照射	公众照射
有效剂量 年当量剂量	20 (在规定的 5 年内平均) <sup>b)</sup>	1 <sup>c)</sup>
眼晶体	150	15
皮肤 <sup>d)</sup>	500	50
手和足	500	

注：数据来自国际放射防护委员会（ICRP，1991）。

a) 剂量限值适用于特定期间内的有关外照射剂量和该期间摄入量所致 50 年（对于儿童是 70 岁）待积剂量之和；

b) 附加要求是任一年有效剂量不得超过 50 mSv，对孕妇的职业照射另有进一步的限制；

c) 在特殊情况下，如果每 5 年内平均不超过 1 mSv/a，则在单独一年有效剂量可允许大一些；

d) 对有效剂量的限制足以防止皮肤的随机性效应，对局部照射还需附加限制以防止确定性效应。

(29) ICRP 1990 年建议书指出：“在考虑是否符合职业照射或公众照射的剂量限值时，将患者在诊断或治疗中所受的剂量包括进去是不合适的。”同时指出：“医疗照射限于作为其本身的医学诊断或治疗的一个组成部分的个人所受到的照射，以及知情并愿意在诊断或治疗中帮助扶持或安慰患者的人员（不是职业照射）所受的照射。”（ICRP, 1991）。

(30) ICRP 第 73 号出版物（ICRP, 1996）对医学中志愿者所受照射问题的表述如下：

“那些帮助和安慰患者的朋友及亲属也属于志愿者，不过，无论是对于患者还是对于照顾患者的人来说，都有直接的好处。他们受到的照射虽可当作医疗照射，但应制定一些剂量约束值，以便用于当核医学科患者免住院时为探视患者的人员及其在家的家庭成员确定防护政策。这样的人群可能包含有儿童。委员会虽不曾为这样的约束提供建议值，但一种其范围为每次接触中数个毫希沃特的数值可能是合理的。并不要求严格地执行这种约束值。例如，对于重病患儿的父母来说，较大的剂量也是恰当的。”

(31) 以前关于剂量约束值的建议包括与患者共同生活的婴幼儿。由于无法给予婴幼儿知情同意，婴幼儿通常不涉及陪护或安慰患者的活动，并且是辐射诱发甲状腺癌的易感人群（尤其是经食入途径摄入放射性碘，见第 6.3 节），当前认为应当将婴幼儿，如同那些基本不会去陪护或安慰患者的探视人员一样，作为公众成员对待。换句话说，对上述人群所受照射应当适用 1 mSv/a 的公众剂量限值。

(32) 应当强调，剂量约束是一种源相关的个人受照控制体系，应在此值以下实施防护最优化。实现防护最优化要遵守剂量约束。当应用正式的代价—利益分析时，最优化从本质上来说是一个判断程序，包括对剂量水平、受照人员数量和异常状况下受照射的可能性等判断。对于接受核医学治疗后患者的免住院，最优化及其对必须采取的行为限制的影响可能因人而异。

(33) 国际原子能机构（IAEA, 2002a）在基本安全标准中（第II-9 段）为患者的慰问者和探视者推荐了剂量约束值和剂量限值的具体数值，并指出：“这一部分陈述的剂量限值不适用于那些明知受照但志愿帮助（并非他们的职业或专业工作）护理、支持和慰问正在接受医疗诊断或治疗的患者的慰问者及探视者。然而，任何慰问者或探视者所受的剂量必须加以约束，以致他（或她）在患者诊断检查或治疗期间所受的剂量不会超过 5 mSv。探视已食入放射性物质患者的儿童所受剂量同样应约束在 1 mSv 以下。”



(34) IAEA 的要求是针对食入放射性物质的，类似地，它应当适用于接受放射性物质静脉注射的患者。因此，IAEA 的要求基本上与 ICRP 的建议一致，尽管并没有明确阐述那些安慰或护理（并非其职业）多个核医学治疗患者的个人如何避免受到过多的剂量。

# 6 $^{131}\text{I}$ 照射的关键途径

## 6.1 概述

- 接受了放射性碘治疗的患者对其他人的照射，按重要性由高到低的顺序是：外照射；污染所致的内照射；以及一般的环境途径。

- 在放射性碘治疗后的头几天内，来自受治疗患者的唾液会对婴儿和幼儿造成污染，从而使儿童的甲状腺受到明显剂量，可能使以后辐射诱发甲状腺癌的危险增大。

- 来自其他常见的治疗用开放性放射性核素的剂量远低于适用于陪护者的公众剂量限值或剂量约束值，而不管何种放射性核素或环境途径如何。

(35) 患者的亲属、陪护者和公众可能有几种受照方式：

(i) 靠近患者的人受到的外照射；

(ii) 因排泄或呼出的放射性碘，使靠近患者的人受到内污染；

(iii) 通过下水道、水排放、污泥焚化和尸体火化等环境途径产生的照射。

(36) 除  $^{131}\text{I}$  以外，对于其他常见的治疗用开放性放射性核素，不管何种放射性核素或环境途径如何，对公众和陪护者造成的剂量远低于推荐的剂量限值和剂量约束值。因此，本报告将重点讨论放射性碘。

(37) 碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 化钠可通过吸入、皮肤吸收或食入进入人体。在治疗甲状腺功能亢进症或甲状腺癌时，通常是以液体或胶囊的形式口服。碘化物通过胃肠道迅速吸收入血，依靠甲状腺组织功能进行吸收并转化为有机碘。放射性碘标记的甲状腺激素以血浆结合蛋白的形式进入循环，由肝脏和肌肉进行代谢。有些放射性碘在肝脏中发生耦联，由胆汁排到肠腔内。

(38) 唾液腺、胃和分泌乳汁的乳腺含有上皮细胞，能将无机碘化物保持在一定的浓度梯度，大约是血浆水平的 1 520 倍。

(39) 放射性碘主要通过尿排出，唾液、汗液和粪便中的量较少，呼出量很少。

(40) 患者体中的滞留活度和许多因素有关，包括（但不限于）放射性药

物、甲状腺的有无、水化及肾功能。甲状腺癌与甲状腺功能亢进症患者治疗用碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 化钠的典型滞留曲线见图 6.1。

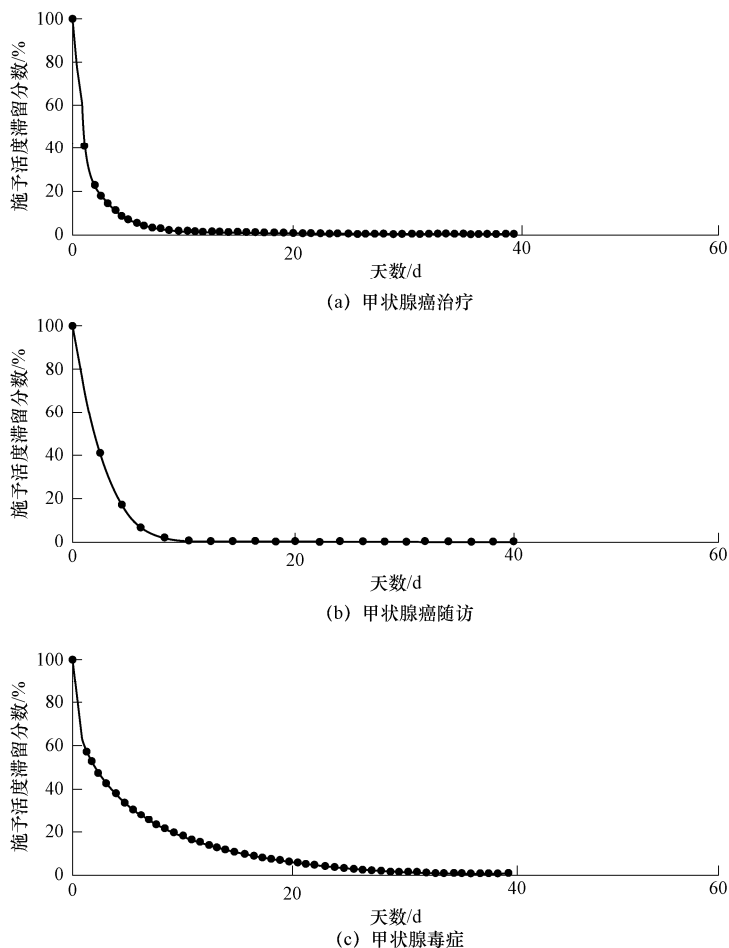


图 6.1 不同类型患者的典型  $^{131}\text{I}$  有效滞留曲线及施予活度滞留分数  
[数据来自 Barrington 等 (1996a) 和 Hilditch 等 (1991)]

(41) 排放到下水道系统的不同放射性核素的活度比例见表 6.1。Driver 和 Packer (2001) 报道了 174 例甲状腺癌患者用放射性碘治疗后测得的活度排放情况, 发现施予活度的约 55% 是在治疗后最初 24 h 排出, 22% 在第 2 个 24 h 排出, 6% 在第 3 个 24 h 排出。总量的 85% 在最初 5 d 内排放到下水道系统。从历史角度及监管的目的考虑, 假设 100% 的施予活度都排放掉了。因此使用这些值多少有点保守, 可能对潜在的环境后果高估了约 15%。

表 6.1 排放到下水管道的施予活度比例（至完全衰变）

核素及其形态	治疗病种	排放到下水管道的比例/%
金 ( $^{198}\text{Au}$ ) 胶体	恶性疾病	0
$^{131}\text{I}$	甲状腺功能亢进症	54
$^{131}\text{I}$	甲状腺癌	84~90
间碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 苄基胍 ( $^{131}\text{I}$ MIBG)	嗜铬细胞瘤	89
磷 ( $^{32}\text{P}$ ) 酸盐	真性红细胞增多症等	42
氯化锶 ( $^{89}\text{Sr}$ )	骨转移癌	92
钇 ( $^{90}\text{Y}$ ) 胶体	关节炎	0
钇 ( $^{90}\text{Y}$ ) 抗体	恶性肿瘤	12
铒 ( $^{169}\text{Er}$ ) 胶体	关节炎	0

注：数据来自 Thompson 等（1994）。

## 6.2 来自患者的外照射剂量率

- 接受放射性碘治疗的患者对其他人造成的剂量主要来自外照射。

(42) 在很多关于接受放射性核素治疗的患者对其他人造成的吸收剂量计算中，将活度的分布假设为未衰减的点源。通常用反平方律估算附近人员的外照射剂量。这对于甲状腺功能亢进症患者或有局部转移的甲状腺癌（有碘浓集）患者来说，基本上是正确的。

(43) 不过，假如活度在患者体内广泛分布，使用未衰减点源模型将会高估周围人员的剂量。线源衰减校正模型则更为准确，可以常规使用。该模型更适于接受骨转移癌姑息治疗或放射免疫治疗的患者（Lubin, 2002; Siegel 等, 2002a）。

(44) 接受一定活度  $^{131}\text{I}$  治疗的患者，对他人造成的累积外照射有两三倍的变化，这取决于患者甲状腺功能是否正常、是否患有甲状腺毒症，或接受了甲状腺癌治疗。因此，许多研究人员测量了不同类型患者及在不同时间的剂量率。Culver 和 Dworkin（1991）测量了因甲状腺功能亢进症接受碘（ $^{131}\text{I}$ ）化钠治疗的患者在给药后 11 d 内不同距离的剂量率（表 6.2）。

(45) O'Doherty 等（1993）研究了因甲状腺功能亢进症接受放射性碘治疗的患者的剂量率。结果大体类似，见表 6.3。

(46) Barrington 等 (1996a) 对甲状腺切除或随访 <sup>131</sup>I 治疗甲状腺癌的患者测量了实际的外照射剂量率。结果列于表 6.4 和表 6.5。

(47) 表 6.4 和表 6.5 表明, 在甲状腺癌患者中每单位施予活度的外照射剂量率下降很快。在甲状腺癌患者中, 甲状腺已切除, 所以没有滞留放射性碘。因此, 施予放射性碘的绝大部分在治疗后的最初 2 d 内随尿排出。有的研究人员建议应在距离患者 2~3 m 处进行外照射剂量的测量, 以尽量减小几何效应。如果患者肿瘤有残余灶, 那么情况就不同了, 因为这将蓄积大量的放射性药物。

表 6.2 甲状腺功能亢进症患者服用 <sup>131</sup>I 后, 在不同时间、不同距离处测得的剂量率  $\mu\text{Sv/h} \cdot \text{MBq}$  施予活度

距离/m	0 d	2~4 d	5~7 d	8~11 d
0.6		0.059	0.034	0.024
1.0	0.046	0.022	0.014	—

注: 数据来自美国国家辐射防护和测量委员会 (NCRP, 1995)。

表 6.3 甲状腺功能亢进症患者服用 <sup>131</sup>I 后, 在不同时间、不同距离处测得的平均剂量率  $\mu\text{Sv/h} \cdot \text{MBq}$  施予活度

距离/m	第 0 天	第 1 天	第 3 天	第 6 天	第 8 天	第 10 天
0.1	1.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1
0.5	0.2	0.1	0.1	0.07	0.05	0.04
1.0	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02

注: 数据来自 O'Doherty 等 (1993)。

表 6.4 甲状腺切除的甲状腺癌<sup>1)</sup>患者服用 <sup>131</sup>I 后, 在不同时间、不同距离处的剂量率  $\mu\text{Sv/h} \cdot \text{MBq}$  施予活度

距离/m	第 0 天	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 7 天
0.1	0.665	0.187	0.088	0.069	0.053	0.016
0.5	0.114	0.049	0.025	0.019	0.014	0.007
1.0	0.046	0.019	0.009	0.007	0.007	0.004

注: 数据来自 Barrington 等 (1996a)。

1) 译者注: 英文本误写为“甲状腺功能亢进症”。

表 6.5 随访的甲状腺癌<sup>2)</sup>患者服用 <sup>131</sup>I 后不同时间、不同距离处的剂量率  $\mu\text{Sv/h} \cdot \text{MBq}$  施予活度

距离/m	第 0 天	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 7 天
0.1	0.746	0.274	0.085	0.030	0.026	0.001
0.5	0.126	0.051	0.017	0.006	0.002	0.000 3
1.0	0.046	0.019	0.007	0.003	0.002	0.004

注：数据来自 Barrington 等（1996a）。

## 6.3 其他人员的污染

● 成人的污染远没有外照射控制重要。不过，避免儿童和孕妇受到污染是非常重要的，因为胎儿和儿童的甲状腺对辐射诱发甲状腺癌的敏感性很高。在放射性碘治疗后母亲必须立即停止哺乳。

(48) 首要法则。假定只有不到百万分之一的操作活度会被操作者摄入。对于正常的工作场所运行和事故性照射造成的工作人员摄入，因设施事故排放的气溶胶造成的公众摄入等，这些已得到证实。至少有两项研究表明，因接触患者而引起个人摄入所致照射也处在相同的数量级（Buchan 和 Brindle, 1970; Jacobson 等, 1978）。在有些国家，取值更为保守。例如，在荷兰，假定操作量的 1% 造成体内摄入。一种例外情况是直接接触患者的尿液，许多研究表明，放射性碘的污染一般来说是低的，但不可忽视。对于成年亲属，归因于污染的内照射剂量通常不到外照射剂量的 10%。患者通过呼出气、唾液、汗液、尿液或乳汁排出的放射性碘可对亲属和陪护者造成潜在的照射。在一项研究中，测量了皮肤和甲状腺剂量，结果发现外照射是甲状腺内照射剂量当量的 100 多倍（Jacobson 等, 1978）。

(49) 表 6.6 给出了不同年龄的人食入和吸入 <sup>131</sup>I 的剂量转换系数。这对于计算可能的预期剂量是有用的。不过，测量体液的活度和患者以外人员的体内活度则更有意义。

2) 译者注：英文本误写为“甲状腺功能亢进症”。



表 6.6 吸入和食入放射性碘的剂量转换系数

Sv/Bq

年龄组/岁	吸入	食入
<1	$7.2 \times 10^{-8}$	$1.8 \times 10^{-7}$
1~2	$7.2 \times 10^{-8}$	$1.8 \times 10^{-7}$
2~7	$3.7 \times 10^{-8}$	$1.0 \times 10^{-7}$
7~12	$1.9 \times 10^{-8}$	$5.2 \times 10^{-8}$
12~17	$1.1 \times 10^{-8}$	$3.4 \times 10^{-8}$
成人	$7.4 \times 10^{-9}$	$2.2 \times 10^{-8}$

注：数据来自国际放射防护委员会（ICRP，1996）。

(50) 用 200~600 MBq 的碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 化钠治疗甲状腺功能亢进症后，对患者的各种体液中的活度进行了测量 (O'Doherty 等, 1993)。收集服药之后最初 24 h 内的唾液，其平均活度为 86.7 Bq/(g·MBq) 施予活度 (范围为 0.6~208 Bq/g·MBq)。服药后 3 d，降至约 27 Bq/(g·MBq)。最大的唾液活度出现在治疗后大约 24 h 时。有些研究人员建议，在服药后的最初 48 h 内，患者与其亲属之间不能有口对口的接触。

(51) 服药后最初 24 h 内手心汗液的分泌活度是 170 Bq/cm<sup>2</sup> (范围为 13~1 027 Bq/cm<sup>2</sup>)，24 h 内通过手掌平均分泌 45 kBq。这与施予活度或身材大小关系不大。因而，汗液中  $^{131}\text{I}$  污染的危险是比较小的。

(52) Nishizawa 等 (1980) 对许多甲状腺功能亢进症患者监测了碘的排泄情况，得到一些有趣的发现。接受了 25 mCi 的患者，除服用后的最初几个小时之外，唾液中的活度浓度最高 (约 10  $\mu\text{Ci}/\text{mL}$ )；血液的活度浓度约为唾液中的活度浓度的 1/20 (约 0.5  $\mu\text{Ci}/\text{mL}$ )；汗液中更低，其活度浓度为唾液活度浓度的 1% (约 0.01  $\mu\text{Ci}/\text{mL}$ )。此外，这些患者唾液中的活度下降很快；在治疗后第 3 天，大约是初始最高浓度的 1%。

(53) Lassmann 等 (1998) 的研究显示，在放射性碘治疗时，施予的  $^{131}\text{I}$  有 0.1% 释放到治疗室的空气中。接受放射性碘治疗后曾住院 2 d 的患者，其亲属中有 2/3 的人在甲状腺内的  $^{131}\text{I}$  活度可以用甲状腺探头检测出来。尚不清楚这些活度是来自放射性碘的呼出还是其他污染。已测得的全身最大活度为 4 kBq，甲状腺最大活度为 0.2 kBq。由此产生 2 mSv 的甲状腺剂量，平均甲状腺剂量为 0.2 mGy。受照最严重的亲属，因内污染所致有效剂量，仍低于公众的年剂量限值 1 mSv。

(54) Hanscheid 等(2003)对核医学治疗病房内的人员进行了甲状腺<sup>131</sup>I的逐日监测。测定了甲状腺剂量,平均每月为0.35 mGy,表明只要房间里空气交换充分,合并风险是比较低的。

(55) Schomaecker 等(2000)对因甲状腺功能亢进症和甲状腺癌而接受治疗的患者进行了研究。他们的结果比Lassmann等(1998)报道的值要低,发现呼出的放射性碘的量为服用活度的0.008%~0.03%。甲状腺功能亢进症患者的放射性碘呼出比例,要高于甲状腺癌患者。呼出活度的大部分以有机结合态存在。

(56) Wellner 等(1998)研究了甲状腺功能亢进症患者呼出的放射性碘,以及对其亲属的影响。他们认为,假如患者住院3 d,他们的亲属中没有一人的有效剂量会超过0.1 mSv。根据他们的推断及模型,假如患者治疗后不住院的话,对亲属的预期有效剂量会高达6.5 mSv,超过了公众剂量限值1 mSv/a。

(57) 来自甲状腺癌患者的污染在服用放射性碘后约24 h时是最高的,并且高于甲状腺功能亢进症患者的情况。Ibis等(1992)研究了这些患者的污染模式。在服用后4 h、24 h和48 h时,测量了皮肤的可去除活度,从10 Bq/cm<sup>2</sup>到大于250 Bq/cm<sup>2</sup>不等。可去除活度与服用活度之间有相关关系。洗浴较勤的患者,可去除污染明显较低。患者所能接触到的表面,其可去除的污染有轻有重,从小于1 Bq/cm<sup>2</sup>到190 Bq/cm<sup>2</sup>不等。在治疗后的最初48 h内,就厕所中马桶坐垫上的可去除活度而言,男性(约1500 Bq/cm<sup>2</sup>)远高于女性(约20 Bq/cm<sup>2</sup>)。发现唾液活度与服用活度成正比,在治疗后24 h时最高。对于接受了11 GBq的患者,治疗后24 h时的唾液活度浓度大约为4 MBq/mL唾液。

(58) 还测量了治疗后最初2 d内<sup>131</sup>I的呼出活度及平均空气浓度。呼出气中的活度范围为20~190 Bq/L。治疗后第1天内每小时的平均呼出活度为 $1.5 \times 10^{-6}$  Bq/(h·Bq)服用活度。4例甲状腺癌患者呼出到空气中的总活度为2.2~4.9 MBq。房间空气的平均浓度为0.08~0.44 Bq/L。进行测量的房间里每天有190次空气交换。在美国,限制区的最大允许浓度为0.33 Bq/L。

## 7 <sup>131</sup>I 对患者亲属、陪护者及公众照射危险的量值与性质

- 接受放射性碘治疗的患者导致其他成人的典型剂量，诱发癌症的危险非常低。也不太可能有成人受到足以导致甲状腺功能减退的放射性碘污染。

- 对于 20 岁以下的人，存在由于污染（特别是唾液）而诱发甲状腺癌的显著危险。

- 污染会给婴幼儿带来较高的甲状腺吸收剂量（尽管保持在先前建议的剂量约束值之内），且儿童甲状腺的辐射致癌敏感性极高，因此 ICRP 现在建议，对该人群应当用公众剂量限值 1 mSv/a 进行限制。

(59) 剂量限值和剂量约束值都是以危险为底线。因此，有必要阐明与这些值相关的危险的性质及量值。如前所述，接受治疗量开放性放射性核素的患者，对其他人的危险绝大部分来自外照射，较少部分来自内污染。

(60) <sup>131</sup>I 发射 364 keV 的  $\gamma$  光子，来自患者的这些射线会以全身均匀照射的方式，使邻近的人受到照射。由于剂量率相对较低，其危险与诱发癌症有关。一般人群发生致死性癌症的危险大约是 5%/Sv (ICRP, 1991)。

(61) ICRP 的公众剂量限值为 1 mSv/a，剂量约束值是每次接触几个毫希沃特，某些情况下更高一些。根据线性无阈方法，对公众而言，1 mSv 时所有致死性癌症的风险约为 0.005%。很明显，这些都是潜在的会导致癌症增加的风险（如果有的话），在这样剂量水平的危险是如此之小，迄今还难以检测出来。这一潜在的危险与致死性癌症的终生自发危险的 20%~30% 相当。儿童比成人更容易诱发癌症（高 2~3 倍），因此对于儿童，有效剂量为 1 mSv 的危险是 0.101%~0.02%。

(62) 瑞典的一项研究中，36 000 人接受了诊断剂量的放射性碘，仅在那些此前有颈部外照射治疗史的患者中，发现有甲状腺癌发病率增加。其他患者因放射性碘而致的甲状腺剂量为 0.94 Gy；不过，大多数患者受照时年龄已

超过 20 岁 (Dickman 等, 2003)。

(63) 来自内污染的危害在成人和儿童之间的差异很大。

(64) 由外照射和放射性碘的研究结果来看,成人对诱发甲状腺癌症有相当的抗性 (Ron 等, 1995)。迄今为止,在切尔诺贝利事故后恢复的工作人员中,未出现与剂量相关的甲状腺癌发病率增加的情况 (UN-SCEAR, 2000)。其他研究中,对成人唯一可测的危害见于甲状腺高剂量 (约 3 Gy) 照射后,导致亚临床型甲状腺功能减退症 (Larsen 和 Conard, 1978)。这些变化仅发生在合并活度比放射性碘治疗患者的亲属实际测得的污染高多个数量级的情况下。

(65) 鉴于切尔诺贝利事故后发现的甲状腺癌发病率增加的情况,使得儿童的放射性碘污染受到关注。对食入放射性碘的儿童及经历了切尔诺贝利事故的儿童进行的危险估算表明,超额绝对危险 (EAR) 为  $(1.6\sim 2.3) \times 10^4$  人·年·Gy, 超额相对危险 (ERR) 为  $(23\sim 38) / \text{Gy}$  (UNSCEAR, 2000)。在一项大样本研究中,对美国西部受照于核武器落下灰的儿童估算的甲状腺剂量为 0.46 Gy, 没有发现甲状腺癌发病率显著增加 (Rallison 等, 1974)。但是,近来研究表明,总体来讲,甲状腺肿瘤的 ERR 是 0.7%/mGy, 但甲状腺癌和结节两者的剂量-效应曲线不显著 (Kerber 等, 1993)。

(66) ICRP 对公众的建议仅涉及有效剂量。除了在特殊情况下,儿童一般都被当作公众成员,年有效剂量限值为 1 mSv。这些都是一般性的建议,并没有专门涉及放射性碘和儿童敏感性的问题。可以想象,年龄较大的儿童如果具有知情同意的能力,那么他们就会在家帮着照顾或安慰患者。鉴于本报告中讨论的照射情景主要是考虑放射性碘,而儿童的甲状腺可能对癌症的诱发比较敏感,因此这一问题需要进一步的研究。甲状腺的组织权重因数为 0.05, 因此理论上完全可能存在儿童甲状腺在接受源于放射性碘 20 mSv 的照射后仍符合 ICRP 建议。尚未发现儿童在受到这样的剂量后有甲状腺癌发生。年龄较大的儿童在受到这样大的污染后,在没有外照射的情况下,也不会出现这种情况。因此,如果儿童的有效剂量保持低于 1 mSv/a, 则甲状腺剂量会远小于 20 mGy。对亲属进行的甲状腺实际测量也证明了这一点。

(67) 如果正值哺乳期的母亲在经放射性碘治疗后仍继续哺乳,而儿童的甲状腺未被切除,那么患甲状腺癌的风险是很高的。

(68) 如果父(母)没有遵守辐射防护规则,可将其看作是一种特殊的污染情况,可以估算儿童的甲状腺剂量。例如,对于甲状腺功能亢进症患者,

治疗后第一天的唾液活度，平均大约是 100 Bq/g 唾液/MBq 施予活度。假如父（母）服用了 555 MBq，则其唾液质量活度（或活度浓度）大约会是 55 000 Bq/g（或 Bq/mL）唾液。

（69）婴儿或幼儿食入放射性  $^{131}\text{I}$  后，甲状腺剂量约为  $4.3 \times 10^{-7}$  Gy/Bq。例如，婴儿让未遵守预防措施的父（母）亲吻后，接受了 1 mL 的唾液，则估算甲状腺剂量约为  $2.4 \times 10^{-2}$  Gy 或 24 mGy（ICRP, 1999）。采用切尔诺贝利事故受照儿童的初步资料，即放射性碘的 ERR 为（20~30）/Gy，则诱发甲状腺癌的 ERR 为 1.0 左右（即加倍的天然危险）。但如果采取了适当措施，对儿童的实际测量表明，甲状腺剂量会低于上述例子，因而癌症危险也低。在一项研究中，89 名儿童中的 25 例检测到碘活度。在检测出活度的儿童中，甲状腺剂量从 0.41 mGy 到 29.1 mGy 不等（Barrington 等，2003）。该研究发现，一些父母没有被告知、未正确理解或者没有遵守应采取的预防措施。

（70）内污染对儿童造成的剂量可与外照射所致儿童的潜在剂量相比较。如果放射性碘治疗后 1 d，父（母）有 555 MBq 的残留放射性碘活度，孩子在离他（她）0.1 m 处停留 1 h，则外照射剂量率较低[约  $0.4 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ]；或者说，若父（母）残留放射性碘活度为 555 MBq，则儿童的外照射剂量将为 0.2 mSv。这些计算表明了预防措施对于降低或避免儿童或婴幼儿内污染的重要性。

（71）鉴于婴儿和幼儿可能由于污染而导致甲状腺的高吸收剂量，尽管仍保持在原来建议的每次接触几个毫希沃特的剂量约束值之内，但由于儿童的甲状腺对辐射致癌是高度敏感的，因此，ICRP 现在建议，该人群应当用公众剂量限值 1 mSv/a 进行限制。

## 8 放射性碘的环境途径

● 随核医学诊疗患者的排泄物排放到环境中的放射性物质大多数为 $^{99m}\text{Tc}$ ，其次是 $^{131}\text{I}$ 。 $^{99m}\text{Tc}$ 的半衰期（6 h）极大地限制了其作为环境照射来源的重要性。由于 $^{131}\text{I}$ 的半衰期为8 d，在医疗使用后可以在环境中探测到 $^{131}\text{I}$ 。但这些实践对环境的影响还是测量不到的。

（72）最近，大量的出版物强调了建立辐射防护体系的重要性，它应包括详细的对环境的潜在影响（Coplestone 等，2000；ICRP，2003；Nuclear Energy Agency，1995；Pentreath，2002）。此外，ICRP 目前已成立了一个专题组，以制定这方面的政策。本报告的目的是将释放 $^{131}\text{I}$ 造成的环境影响降低到最小限度。这样做有几个理由。 $^{131}\text{I}$ 的物理半衰期相对较短（8 d），而患者排泄物处理、返回生态系统需要的时间却相对较长。

（73）对放射性碘在环境中的转移，已经进行了几十年的研究（Eisenbud，1973；Ilyin 等，1972）。目前，已经掌握了因事故、核武器试验导致的放射性碘释放和有计划释放的大量信息。在这些情况下，大量的放射性碘被释放到环境中并进入食物链。放射性碘一般是通过直接排放到空气中从而进入环境的，虽然也涉及其他途径，例如通过排污管道释放到用于灌溉的河流和水系中。

（74）由于相对较短的半衰期，就土壤吸收而言， $^{131}\text{I}$ 不是一种重要的污染物。 $^{131}\text{I}$ 的衰变率相对于作物生长时间而言是很快的。放射性碘在植物叶子上沉积，是从空气向植物转移的沉积速度的函数。由于风雨及其他因素可从叶子上去除放射性碘，去除的有效半减期大约为3.5 d。沉积在植物表面的放射性碘可被牛食入，食入放射性碘的约5%出现在牛奶中。

（75）就核医学诊疗患者的免住院而言，放射性碘或是在患者体内衰变，或是主要经尿液排泄从而进入环境，情况有很大差异。在污水处理过程中，排污管道维修工和废水处理操作人员可能受到来自排放入水系的液态流出物和淤泥的照射。一般来说，由于活度很低、稀释、扩散作用以及要经过很长

时间才能进入食物链，使得该途径的影响极小。

(76) 放射性碘可以以污物淤泥形式沉积于土壤。淤泥可分为未处理、已处理和深处理三类。这些术语主要与减少细菌和其他病原体关系的处理过程有关，而与去除放射性关系很小。除此之外，事实是：处理程序越多，所用的时间越长，所释放的放射性活度将越低。

(77) 因为与细菌相关的公共卫生原因，通常不会将未处理的淤泥施于农田。处理过的淤泥可能直接施用于作为牛饲料的作物，但并不是常规做法，除非淤泥在使用前已放置了 6 个月。在一些国家，禁止在所有农田上施用未经处理的排污淤泥，且处理过的淤泥只能在牧场深埋。此外，在作物不经处理直接食用的情况下，根据作物的不同，从施淤泥到收割的时间必须达到 12~30 个月。

(78) 放射性碘释放到水体中时，可在许多水生生物的体内蓄集。蓄集系数：藻类为 200~500，软体动物和甲壳类为 10~70，鱼肉类为 10~15。在一些东欧国家，淤泥可堆放于淡水渔场旁，并投入水中来增加鱼产量，也不监测从淤泥处理到用于饲鱼的时间。

(79) 目前，至少有一本关于放射性碘对金鱼甲状腺功能影响的出版物 (Chavin 和 Cukrowski, 1968)。研究发现，直接向腹腔内注射 0.37 kBq 的放射性碘对脑垂体的细胞形态产生影响，腹腔内注射 0.37 MBq (2.2 MBq/kg) 导致甲状腺部分功能丧失，腹腔内注射 3.7 MBq (22 MBq/kg) 将导致甲状腺丧失全部功能。有学者还对大西洋鲑鱼 (LaRoche 和 LeBlond, 1954) 和鳟鱼 (LaRoche 等, 1965; Norris 和 Gorbman, 1965) 进行了研究，导致甲状腺丧失全部功能的活度为 37~185 MBq/kg。研究还注意到，将虹鳟鱼幼苗放入活度约为 1 MBq/mL 的水中饲养 2~3 个月，虹鳟鱼甲状腺功能全部丧失。对于奇奴克鲑鱼、鳟鱼和鳗鱼，也有类似的研究和结果报道 (Harris, 1959; Olivereau, 1957; Olivereau 和 LaRoche, 1965)。所有研究都报告，产生效应的活度，均比因医用开放性放射性核素的活度经患者尿液向污水系统排放，以及随后进入流出物中的活度，高出很多个量级。无论如何，考虑到  $^{131}\text{I}$  半衰期只有 8 d，淡水渔场使用污水可能会对鱼的甲状腺有影响，但对公众的健康影响甚微。

(80) 对潜在危害而言，人们必须考虑在排放点的浓度、高稀释系数、混合作用及放射性碘在水—藻类—浮游动物—食品 (人类食用的) 生物链期间显著的物理衰变。 $^{131}\text{I}$  通过水途径进入人体，远没有陆地途径重要。

# 9 开放性放射性核素治疗 产生的放射性废物的处置

- 只要遵守一定的管理规定，即使没有贮存尿液，开放性放射性核素诊断或治疗患者的排泄物经污水管道排放的情况表明，远远低于职业和公众辐射剂量限值。
- ICRP 建议书中并没有要求贮存尿液。放射性碘治疗后患者尿液的存放意义似乎不大。
- 排放到现代污水系统中的放射性核素可能造成污水处理工作人员及公众的剂量，其值远低于公众剂量限值。
- 填埋时用来探测无看管辐射源与非法辐射源的辐射探测器，可以用于检测来自放射性碘治疗患者或者废物垃圾中的污染。

## 9.1 概述

(81) 许多作者研究了有关放射性废物处置的流行观点，但是一项近期的研究已经摆脱了有关废物源的流行观点的看法 (Kelly 和 Finch, 2002)。一般来说，公众对来自核工业或燃料后处理的放射性废物持怀疑态度，然而对医疗应用产生的放射性废物，与其提供的利益相比，被认为是可以接受的。

(82) 放射性废物的辐射防护与处置的政策大纲，见 ICRP 第 77 号出版物 (ICRP, 1997)。该策略分为两类：稀释与分散，或浓集与存放。可以把废物管理当作一个公共卫生工具，用以限制释放的核素对公众的照射。不应忘记的是，放射防护的主要目的是提供保护人类的适当标准，而不过分限制虽会引起辐射照射但仍有收益的实践。ICRP 政策的基础是采取所有合理的措施以限制随机性效应的危险，而不是完全消除此危险。

(83) 对于放射性碘治疗后患者的绝大部分放射性排泄物的管理，类似于



前面所说，存在几种选择。第一种选择，可以收集起来，然后贮存以待衰变，最后在将来某个时间点进行排放（通常是进入污水系统）。有些国家在患者住院时就是这么做的。但患者免住院后贮存尿是不实际的。第二种选择，就是不经衰变，直接将放射性排泄物排放到污水系统。在一些国家，医院没有贮存尿液以待衰变，就直接排放。最后，会有极少量的放射性排泄物存在于不能通过下水道处置的材料中或表面。这些材料将被填埋或贮存以待衰变（Evdokimoff 等，1994）。以下将对每种方法作详细讨论。

（84）直接从下水道排放处理的方法，最适合于哺乳妇女接受放射性碘治疗后受污染母乳的处理。

（85）当医院要尽量节水时，问题就出现了。这意味着该策略不能将放射性稀释至可接受的活度浓度。在加拿大，该值的年均范围在 200 Bq/L。其结果是至少有一家医院采用了多个储罐（Leung and Nikolic, 1998）。根据储罐的几何形状，单位活度造成的剂量率为 0.5~4.0  $\mu\text{Sv/h} \cdot \text{GBq}$ 。由于这些储罐一般不是自动的，所以需要有人维护。这些改进措施并不是必须的，但人们必须确保有关环境途径所作各种假设的现实性。

## 9.2 贮存以待衰变

（86）把尿液贮存起来以待衰变，这是一个有争议的话题。有一些国家这样做了，而其他国家没这样做。最终的问题是，这一做法的意义和代价是什么？

（87）让患者住院的理由之一是尿液可以贮存，等衰变后再排放到污水管道。在许多国家，让患者住院是为了降低对其亲属和其他人员的外照射，但有许多医院没有贮存患者的尿液。相反，在批准的限值以下，经过适当的稀释，直接排放掉了。

（88）贮存尿液以待衰变带来一些问题。首先是确定何时达到充分的衰变（Meck, 1996）。按照放射性的性质，要求完全衰变是不合理的。对于  $^{131}\text{I}$ ，即使只经过 10 个半衰期，也意味着要将尿液置放好几个月，Erlandsson 和 Mattsson（1978）建议将放射治疗患者的所有尿液不作任何存放，直接排入污水管道。

（89）其次是假如医院没有完善的排污管道系统，公众照射的潜在降低会被职业照射的增加和代价的增大而抵销掉。最后是即使患者在治疗后只住院

一两天，患者身上存留的较高活度放射性也会在接下来的几天内排出，从其家中进入到下水道系统。

(90) 在英国，一项几十年的战略研究（UK Department of the Environment, 2002）发现，对大多数医院来说，在医院里专设储罐来降低排放是不实际的，这是因为费用高，会对医院工作人员造成潜在照射，还因为患者免住院后会有相当比例的排放。

### 9.3 污水、污泥及焚化

(91) 目前，在城市地区，对于放射性碘治疗后患者排泄物的处置，主要方法是通过有配套污水处理厂的市政污水排放系统。当代的污水处理设施通常有一级和二级处理程序。一级处理是清除砂粒及大的漂浮物，然后进行沉淀。二级处理是去除尚未沉淀的固形物，经过絮凝或氧化将有机物溶解，然后进行沉淀。在大多数情况下，将流出物排放至江河或沿海水域。分离出的固体称为淤泥，可被焚化，作为土壤肥料或填埋。

(92) 在农村地区，排泄物会排至当地的化粪池或厕所。这方面的资料很少，但经由合理设计的厕所或化粪池处理，由于水的渗滤速度及放射性碘 8 d 的半衰期，不会对公众造成可测到的剂量。

(93) 来自患者家中的污水，其中放射性碘的总量可根据患者的日排尿量、排入污水管道的家里所有用水的体积来计算。对于英国的个人情况，后一个值大约为每周 1 m<sup>3</sup>，而对一个 4 口之家，大约为每周 3 m<sup>3</sup>。在治疗后第 1 天，服用活度的约 55% 从尿中排出，第 2 天为 17%，第 3 天和第 4 天为 5%，第 5 天为 2%。这些值不应单独考虑，因为使用同一污水系统的其他家庭的排水对此可能有相当大的稀释。

(94) 对来自污水处理厂经处理后的流出物中医用放射性核素（尤其是放射性碘）的活度已研究了数十年（Erlandsson 和 Mattsson, 1978; Prichard 等, 1981; Sodd 等, 1975）。污水厂排出的放射性活度总量主要取决于输入量、污水处理厂的设计，以及最终的处置方法。据估算，医疗中心附近的污水厂，每天排出的放射性碘在 150~370 MBq 的范围。对于许多污水处理厂来说，流出物被稀释得很充分，如果不采用浓缩法，是检测不到放射性碘的  $\gamma$  发射信息的。

(95) 有一些评价指出，工作人员在污水管线间的年居留时间为 200 h；

不过,对于现代的废水处理情况,更可能的是每年 2 h。污水处理设施中工作人员的职业照射剂量估算,不仅取决于当时进厂处理的活度,也和实际的处理过程有关。污水处理厂的工人要比污水管道维修工接受的剂量高。对污水处理厂工人的职业照射剂量贡献最大的核素是  $^{99m}\text{Tc}$ ,而  $^{131}\text{I}$  是江河水中最主要的污染核素。

(96) 虽然排放到污水系统时污水的放射性已被稀释了许多个数量级,但废水处理厂在处理过程中产生的淤泥,其中的放射性很容易测到。由于污水处理系统的设计和结构不同,放射性碘通过废水管到最终进入淤泥这一过程的精确时相也大不相同。不过,在瑞典的一项研究中,最大活度出现在放射性碘排放 2~3 周后的淤泥中 (Erlandsson 和 Matts-son, 1978)。

(97) 有学者研究了市政污水处理厂中碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 化钠和间碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 甲基胍 (MIBG) 的迁移行为特征 (Fenner 和 Martin, 1997; Martin 和 Fenner, 1997)。由此提示,假如将淤泥用于土壤中不可行,那么污泥就需焚化,这是对放射性核素的再次浓集,由此得到的灰烬在填埋时会触发放射性探测器。施予 MIBG 时会有 17% 的活度出现在一次淤泥中,与此相比,仅有施予碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 化钠活度的 1.1% 出现在一次淤泥中。由于  $^{131}\text{I}$  的物理半衰期相对较短,假如淤泥还田 (经过犁地或存放然后用于草场),则不必考虑其太多的放射学问题。淤泥焚化后,受照最重的工作人员 (处理洗刷器故障 2 h) 接受的剂量约是  $1.7 \mu\text{Sv}$ 。对于典型受照的工作人员和公众 (离焚烧炉 500 m 远),在 22 周的焚烧周期内,其待积有效剂量当量分别为  $1.2 \mu\text{Sv}$  和  $0.06 \mu\text{Sv}$ 。

(98) 1998 年,在奥斯陆-巴黎委员会会议上,《1992 年东北大西洋海洋环境保护公约》的签署各方一致通过放射性物质的相关战略。最终目的是减少环境中的人工放射性物质浓度,使之趋于零。英国制定了为期几十年的战略,通过非医用核工业方面的工作,拟在 2020 年前实现这一目标 (UK Department of the Environment, 2002)。显然,医疗排放的大部分是短寿命的  $^{99m}\text{Tc}$  和  $^{131}\text{I}$ ,这两种核素都会在进入环境之前衰变到极低的水平,因而不会对环境造成可测得的影响。排出物中更多的两种来自医院的放射性核素是  $^3\text{H}$  和  $^{14}\text{C}$ 。有结论认为,如果医疗设施以批准的限值排放,则污水处理工作人员将受到大约  $0.24 \text{ mSv}$  的年剂量;如果公众成员进食了大量来自污水排放口下游的鱼,则受照剂量可能高至  $0.18 \text{ mSv/a}$ 。这显然是根据悲观设想的最高估算。英国环境署让签约者评述了当污水处理和排放实践发生变化时 (如污泥焚化的增加),液体放射性废物向公共污水系统的排放情况。两项下水道工作

的结果表明，对于最大排放量，公众的剂量低于 1 mSv 的剂量限值。该签约者也认为，就目前的实践而言，要求广泛引人降低排放的措施并不是恰当的 (Environment Agency, 2000)。

(99) Crockett (2000) 报道了英国两座市政污水处理厂中实际测到的放射性活度，采用英国辐射防护局 (NRPB) 提供的计算机模型，来评价废水中放射性核素的行为，以及对污水处理工作人员与公众的可能剂量。Crockett 发现，污水厂的放射性活度大部分是来自  $^{99m}\text{Tc}$  的放射性药物，其次是  $^{131}\text{I}$ 。假如所有的医院都能以其允许限值排放，那么一般的污水处理工作人员及污泥压缩工人的年剂量分别在 40~80  $\mu\text{Sv}$  和 150~240  $\mu\text{Sv}$  的范围。不过，典型情况是，他们以最大允许限值的 30% 排放。经处理的流出物排放对公众造成的年剂量，当医院以最大允许限值排放时为 30~180  $\mu\text{Sv}$ ，典型排放时为 1~19  $\mu\text{Sv}$ 。污泥焚化后经大气排放造成的公众剂量低得多（年剂量小于 2  $\mu\text{Sv}$ ）。Crockett (2000) 也指出，当时逢暴雨、超出污水处理厂的处理能力时，未经处理的污染物可能直接排放入水由于雨水起到了高度稀释作用，使得公众剂量不会受到明显影响。

## 9.4 填埋

(100) 美国核管会 (USNRC) 的有关规定近来发生的一些变化，使大多数需要高剂量  $^{131}\text{I}$  治疗的甲状腺癌患者作为门诊病人成为可能。在此规定改变之前，医院收集了大多数受到患者污染的物品，并存放在医院以待衰变。但现在这些物品常是从门诊病人的家里作为废物收集而来，再送去填埋。许多填埋场现在都有辐射探测器，用以寻找无看管辐射源和非法材料。这些探测器非常灵敏，能够检测出放射性碘。它们常常在极低的活度水平下便能启动起来，以示报警。这样为查找报警原因，要花很大的代价。在某些情况下，由废物溯源到了患者，最后由病人来付账。在美国部分地区，要求许可证持有者负责，这就是为什么有的医院在患者免住院完全符合法律规定的情况下不让患者离院的原因。这些问题提示有必要对这些涉及低水平、衰变快材料的管理规定进行改革，也可能有必要提高光谱仪的分析能力。

(101) 在有沥出物处理系统的现代填埋场，医用短寿命放射性核素不大可能会在完全衰变前到达地下水。Siegel 和 Sparks (2002) 强调，核医学患者的免住院是安全的，但其送到填埋场址的废物却会带来危害，这两点是矛



盾的。Marcus 和 Aldrich (1997) 提出几条建议, 旨在此问题得以解决之前尽可能减小麻烦, 包括: 使用可以清洗的材料, 而非纸质的餐具或纸巾; 在治疗后第一周, 避免食用不能全部食用的食物 (如苹果、排骨等), 以防唾液污染食余部分; 将不能洗涤或从下水道排放的材料暂时存放起来, 等等。

(102) 填埋场的辐射探测器也会使许多医院的运行政策发生改变。虽然对住院进行放射性碘治疗的患者加以控制, 但以血样形式存在的放射性废物 (通常污染有  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{67}\text{Ga}$  和  $^{131}\text{I}$ ) 及其他物件 (如尿垫) 已和医疗废物一起处置掉了。如果填埋场的辐射探测器在医疗废弃物中探测到放射性活度, 废物将被退回医院。在某家医院的巡测结果显示, 医疗废弃物中约 20% 批次检测到了放射性活度 (Evdokimoff 等, 1994)。因此, 许多医院在医院内有废物箱和医疗废物流通的地方安装了辐射探测器。假如测到辐射, 那么来源是可定位的, 可存放起来等待进一步衰变, 或者与放射性废物一起处置。

## 10 患者住院或免住院的决策

- 做出一名患者住院或免住院的决定，应基于个体化的判断。对此不应只考虑患者体内残留活度，还应考虑其他许多因素，包括患者与他人的接触方式、患者的意愿、职业和公众照射、家庭考虑、费用和环境因素。

- **ICRP** 的建议并没有明确说明接受高活度放射性药物治疗的患者应该住院，但是建议，应当遵从公众剂量限值和对其他人的剂量约束，并继之以最优化来实现上述目标。

- 最近的出版物已经表明，某些主管部门用以决定患者住院与否的假设可能过高估计了公众和陪护者的潜在剂量。

- 患者住院几天将减少对公众和亲属的照射，但会增加职业照射。

- 隔离和住院常给患者及家庭造成明显的精神负担。

- 放射性碘治疗后患者的住院会导致显著的费用和其他代价，对此应当予以充分分析和判断。

- 如将放射性碘治疗后患者的出行时间限制在几小时之内，对其他旅客几乎不会带来危害。

- 对患者接受放射性碘治疗后几周内的检测来说，环境辐射检测设备或其他辐射检测设备通常足够灵敏。此类探测器的操作人员应当接受专门培训，以鉴别和处理核医学患者。

- 由于采用的模型和假设的差异，在已发表的文献中，对患者行为限制的建议有很大不同。

- 对已采取辐射防护措施的患者亲属或陪护者的实际测量表明，剂量很少接近或超过 **ICRP** 建议的剂量约束值，即每次接触数个毫希沃特。

- 对患者离院后的限制，主要是针对与敏感人群（即婴儿和儿童）的接触。

## 10.1 概述

(103) 对于接受开放性放射性核素治疗后患者的免住院，全球范围内的现有建议差异很大。已应用的准则如下：

- (i) ICRP 的剂量限值和剂量约束值；
- (ii) 与 ICRP 建议不同的剂量约束值；
- (iii) 患者体内的残留活度（用外照射测量推断）；
- (iv) 距患者特定距离的剂量率；

(v) 对某特定疾病（如甲状腺功能亢进症或甲状腺癌）进行放射性碘治疗而需住院；

- (vi) 由于家中有儿童而采取住院治疗。

(104) 出于实用目的，将患者离院时的残留活度与其所致公众和患者亲属的照射相联系是一种简便的方法（表 10.1）。如果要这样做，应当以近期出版物和可追溯到公众剂量测量值的实际模型为基础。问题是是否存在这种情况：许多患者在并无住院必要性的情况下而被收住院治疗。俄罗斯、英国及美国的作者都表达了这种观点（Barrington 等，1996a；deKlerk，2000；NCRP，1995；Shishkanov 等，2001；Siegel，1999）。Saenger 和 Kere-iakes（1980）也报道，如果根据活度决定是否住院，可能会使医师为避免让患者住院治疗，给患者施予的活度低于本应给予的量。将残留活度作为唯一的判定标准会存在一些问题，因为这样的话，对患者随后的行为及公众和亲属的最终剂量就无法做出准确判断。

表 10.1 根据对他人的外照射剂量（有效剂量，mSv）

得到离院患者的残留活度

放射性核素	半衰期	残留活度/（MBq/5 mSv）	残留活度/（MBq/1 mSv）
<sup>111</sup> Ag	8 d	19 000	3 800
<sup>198</sup> Au	65 h	3 500	690
<sup>51</sup> Cr	28 d	4 800	960
<sup>64</sup> Cu	13 h	8 400	1 700
<sup>67</sup> Cu	61 h	14 000	2 900
<sup>67</sup> Ga	78 h	8 700	1 700
<sup>123</sup> I	13 h	6 000	1 200

续表

放射性核素	半衰期	残留活度/ (MBq/5 mSv)	残留活度/ (MBq/1 mSv)
<sup>125</sup> I	60 d	250	50
<sup>131</sup> I	8 d	1 200	240
<sup>111</sup> In	67 h	2 400	470
<sup>32</sup> P	14 d	a	a
<sup>186</sup> Re	90 h	28 000	5 700
<sup>188</sup> Re	17 h	29 000	5 800
<sup>47</sup> Sc	80 h	11 000	2 300
<sup>75</sup> Se	120 d	89	18
<sup>153</sup> Sm	47 h	26 000	5 200
<sup>117m</sup> Sn	14 d	1 100	210
<sup>89</sup> Sr	51 d	a	a
<sup>99m</sup> Tc	6 h	28 000	5 600
<sup>201</sup> Tl	74 h	16 000	3 100
<sup>90</sup> Y	64 h	a	a
<sup>169</sup> Yb	31 d	370	73

注：数据来自美国核管会（1997b）。

a 由于对公众外照射剂量极小，没有给出数值。

（105）对患者住院或免住院相关的考虑列于表 10.2。

表 10.2 对接受开放性放射性核素治疗后的患者，决定住院或免住院需考虑的一般问题

问题	住院治疗	免住院
对患者环境的控制	高	低
潜在的照射剂量	有	极小
对亲属的潜在剂量	极小	有
对公众的潜在剂量	极小	有
废物处置方法	排入污水管道系统或贮存	排入污水管道系统
废物造成的公众照射	有，除非被贮存	相同
费用代价	可能高	极小
心理负担	因隔离而显著	极小
患者断气/死亡	殡葬职员的照射可能对火化进行限制	相同



(106) 接受开放性放射性核素治疗后的患者，有下列情形之一者可能需要住院。

(i) 对患者的限制和隔离将减少对公众和亲属的照射剂量，但会增加对医务人员的职业照射剂量。这一问题仅与  $^{131}\text{I}$  有关。采用纯  $\beta$  辐射体治疗的患者不需要住院。

(ii) 在医院里，尿液可以被收集并贮存，以减少放射性物质向污水管道系统的排放。正如前面所提及的，一些医院限制并隔离患者，但并不收集和贮存他们的尿液。因为根据对排放物的实际测量及其潜在影响，这一做法被认为不切实际、费用昂贵、增加医务人员的剂量，而且是不必要的。一些研究人员曾建议收集并贮存粪便，但是一般并未付诸实施，因为经粪便途径排泄很少。

(iii) 病情严重的患者接受开放性放射性核素治疗（例如，广泛转移的患者接受  $^{32}\text{P}$  腹腔内注射）。

(iv) 精神失常和（或）无自制能力的患者，没有能力遵守辐射安全指导和防护措施。

(v) 家庭状况，由于身体的限制和社会的约束，在家中会与儿童密切接触。如果尿液不在医院收集贮存，通常不予讨论的另一种可能方式是患者在非医院生活设施（例如旅馆）中住几天。这一方式的费用低于住院费用，在一些国家可能适用，而在其他国家则不适用。

(107) 住院治疗的另一个潜在危害是将相对健康的患者安排到有潜在耐抗生素感染的环境中，虽然这种情况很少有人提及，但却是一个显著存在的问题。有几位研究人员已经提到住院治疗的益处在于人们可以计算  $^{131}\text{I}$  的生物动力学以及精确评估吸收剂量。仅这一点不能证明住院治疗是正当的，因为生物动力学研究也可以在门诊进行。

(108) 对于没有知情能力的儿童和成人患者，医师必须确定被给予辐射防护指导和建议最为合适的人选。

(109) ICRP 无法为所有不同类型的患者和家庭情况提供准则。希望治疗医师根据上述因素评价并决定最适合每位患者情况的方法，同时兼顾辐射防护问题。

## 10.2 对医院员工的职业照射剂量

(110) 患者住院治疗，职业照射的主要来源是外照射（Castronovo 等，

1986; Ho and Shearer, 1992)。Barrington 等 (1996a) 计算了服用碘-131 清除甲状腺癌或对其进行随访的患者对 7 d 护理期间护理人员造成的职业照射剂量。结果显示在表 10.3 中。实际测量值显示由 Barrington 等 (1996a) 的计算是非常保守的。例如, Denman 和 Martin (2001) 报道了对接受 800 MBq 放射性碘治疗的终末期患者进行护理的实际测量值, 发现护士受到的最大有效剂量为 250  $\mu$ Sv。

表 10.3 甲状腺癌切除后用  $^{131}\text{I}$  治疗<sup>a)</sup>, 对患者进行 7 d 护理后  
护理人员的累积剂量

活度/ MBq	无需帮助的患者/ mSv	需部分帮助的患者/ mSv	卧床患者/ mSv	半卧床患者/ mSv	不卧床患者/ mSv
1 850	6.2	2.4	1.0~1.1	0.2	0.08
3 700	12.6	4.8	2.1	0.4	0.16
5 550	19.0	7.1	3.1	0.6	0.25
7 400	25.3	9.5	4.2	0.8	0.33

注: 数据来自 Barrington 等 (1996a)。

a) 护理随访癌症患者的护理人员受到的剂量在这些值的 10% 以内。

(111) 某些患者在接受开放性放射性核素治疗后, 由于病情不稳定, 不应免住院, 例如, 转移性甲状腺癌的患者或有心脏问题的甲状腺功能亢进症患者。虽然这样的患者通常住在隔离病房内, 但可能因为急救需要外科手术、启动急救程序, 甚至复苏。Griffiths 等 (2000) 报道了一起此类病例导致的职业性辐射照射和污染事件。患者接受 3 011 MBq 的碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 化钠治疗, 6 d 后需要接受外科手术。患者最终死亡, 进行了尸检及火化。外科医师受到的剂量为 20  $\mu$ Sv, 重症监护护士受到的剂量为 40  $\mu$ Sv, 尸检助理受到的剂量为 14  $\mu$ Sv。据估计, 如果  $^{131}\text{I}$  给药后很快就出现外科危象情况, 医务人员剂量可能高达 0.8 mSv。重症监护病房、装患者体液的容器和洗衣房受到显著污染 (总量约为 6 MBq)。

(112) 医院中被隔离的患者将会污染其接触到的物体表面, 尤其是卫生间周围区域。这些区域常常需要去经污处理后才能让其他患者入住。由于唾液中可以检测到  $^{131}\text{I}$ , 护士在护理呕吐、咳嗽或打喷嚏的患者时应格外小心。接受  $^{131}\text{I}$  治疗的患者呼出的一些  $^{131}\text{I}$ , 会留在房间空气中。至少有一项报道,

一例甲状腺癌患者在治疗后第一天呼出的  $^{131}\text{I}$  足以使之超出了最大允许浓度 (Ibis 等 1992)。偶尔, 接受放射性碘治疗的患者需要采取涉及其血液的程序 (尤其血液透析)。 $^{131}\text{I}$  治疗的患者血液透析后, 没有报道显示透析装置有明显的放射性污染。接受其他放射性同位素如  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的患者也证实这一点。接受  $^{131}\text{I}$  治疗的患者血液透析后, 对一次性管路、废物袋及滤器会有轻微污染, 可能需要贮存约 8 周时间, 待其衰变后进行处置。甲状腺功能亢进症患者进行血液透析后,  $^{131}\text{I}$  的平均有效半减期大约为 7 d, 这比没有进行血液透析的甲状腺功能亢进症患者的要长 (Homer 和 Smith, 2002)。

### 10.3 住院的心理代价

(113) 对患者来讲, 住院隔离被普遍认为是一种孤独、沮丧的处境, 虽然在决定患者是否免住院时很少考虑这一点。向患者说明在医院隔离的多种理由, 会暗示患者其治疗的危险远比实际危险高。防护措施愈严格, 患者就越容易这样理解。患者并没有意识到隔离的主要原因, 是限制医务人员接受来自多个患者的职业照射累积剂量和满足 ALARA 原则 (考虑了社会因素和经济因素后将剂量保持在可合理达到的尽量低的程度)。放射性核素治疗后, 给予患者的一长列限制建议清单, 会使患者感到一定存在非常大的辐射危险。除非向患者解释隔离的根本原因, 否则会加重患者的心理负担 (Moreno Garcia, 2001)。在做出患者是免住院还是住院的决定时, 患者的心理问题是应当考虑的一个重要因素。

(114) 当接受放射性碘治疗的患者家中有婴幼儿时, 危险既来源于外照射也来源于患者唾液的污染。然而, 父母对孩子的支持作用是非常重要的, 须考虑儿童与父母隔离后的心理代价。

### 10.4 住院的代价—利益分析

(115) 作为任何辐射防护问题的一部分, 在实践或程序的正当化和最优化时都应考虑代价。很少有研究人员或组织试图确定与开放性放射性核素治疗后患者免住院的不同方案相关的代价。理想的情况是, “代价” 应该包括心理后果、不良健康后果及费用成本。各国对特定问题的代价-利益分析可能有很大不同, 但它为最优化过程提供了有用的工具。

(116) 美国核管会检验了下列 3 种供选方案：

(i) 供选方案 1：修正管理规则，对除患者外的任何人使用 1 mSv 的年平均剂量限值。

(ii) 供选方案 2：要求限制患者，直到患者体内残留活度低于 1 100 MBq 或距患者 1 m 处的剂量率不大于 0.05 mSv/h。

(iii) 供选方案 3：对于受到来自患者照射的人员，规定有效剂量限值为 5 mSv。

(117) 除应用  $^{131}\text{I}$  的几种诊断性程序外，其他诊断性程序不会受到方案选择的影响，仅有某些治疗性程序会受到方案选择的影响。分析结果如表 10.4 所示。由于  $^{131}\text{I}$  的物理半衰期较短，且其对他人的照射方式主要为外照射，所以在放射性碘给药后一周左右的时间内，集体剂量是近距离接触患者人数的函数。在此分析中，评价了患者的平均施予活度及估算了除患者外的最大受照个人的受照剂量。根据滞留率，假设每个程序的集体剂量大约为受到最大照射的个人剂量的 3 倍。对于甲状腺切除和甲状腺癌的治疗，每个程序的集体剂量估计分别为 4.7 人·mSv 和 15 人·mSv。各个国家的费用成本不同，且代价与程序的频度也有关，表 10.4 显示了美国选择不同方案的影响。

表 10.4 美国开放性放射性核素治疗后患者  
按不同方案免住院所需的年成本估计

供选方案	集体剂量/ (人·Sv)	住院滞留 时间/d	住院费用/ 百万美元	时间损失的价值/ 百万美元	记录保持/ 百万美元	心理代价 (相对)
1	184	427 000	427	256	0	高
2	298	16 000	16	10	0	中等
3	325	0	0	0	2.3	低

注：数据来自美国核管会（1997a）。

供选方案 1 具有最低集体剂量，最高成本和最高心理代价。与供选方案 3 相比，集体剂量减少的代价约为 2 百万美元/（人·Sv）。

## 10.5 患者旅行时对其他人的照射剂量

(118) 近期英国一项研究显示，体内残留活度低于 800 MBq 的甲状腺功

能亢进症患者在回家行程中的剂量率平均为  $49 \mu\text{Sv/h}$  (范围为  $4 \sim 252 \mu\text{Sv/h}$ )。根据这项报道和其他测定结果, 一些研究人员认为对使用私人交通工具的患者不必限制时间, 仅需对乘公共交通的患者进行时间限制 (Barrington 等, 1996b; Bunsekera 等, 1996)。O'Doherty 等 (1993) 提出了对接受放射性碘治疗的甲状腺功能亢进症患者的旅行导则, 列于表 10.5。

表 10.5 为将公众剂量限制在  $5 \text{ mSv/a}$  和  $1 \text{ mSv/a}$  以内,  
建议成人甲状腺功能亢进症患者的旅行时间

活度/ MBq	第一周乘私人 交通工具/h	第二周乘私人 交通工具/h	第一周乘公共 交通工具/h	第二周乘公共 交通工具/h
200	24 (24)	24 (24)	24 (3.5)	24 (24)
400	24 (24)	24 (24)	12 (1.5)	24 (14)
600	24 (24)	24 (24)	7 (1.0)	24 (9)
800	24 (24)	24 (24)	4 (0.5)	24 (7)

注: 数据来自 O'Doherty 等 (1993)。

假定私人交通工具内与非配偶的距离为  $1 \text{ m}$ , 公共交通工具内与非配偶的距离为  $0.1 \text{ m}$ 。

表中括号内的值为把公众剂量限制在  $1 \text{ mSv/a}$  以内而建议的时间 (h)。

(119) 根据实际测得的剂量率, Barrington 等 (1996a) 提出了对接受  $^{131}\text{I}$  清除治疗之后或随访的甲状腺癌患者的旅行导则, 以把公众剂量限制为  $1 \text{ mSv/a}$ , 结果如表 10.6 所示。表 10.7 对 Leslie 等 (2002) 与 O'Doherty 等 (1993) 建议的限制做了比较。

表 10.6 为把公众剂量限制在  $1 \text{ mSv/a}$ , 对甲状腺癌患者  
建议的旅行时间

活度/ MBq	乘私人交通工具给药后 24 h 内的旅行/h	乘私人交通工具给药 24 h 后的旅行/h	乘私人交通工具给药 48 h 后的旅行/h
1 850	8	20.5	24
3 700	4	10	18.5, 24 <sup>a)</sup>
5 550	2.5	6.5	12.5, 17 <sup>a)</sup>
7 400	2	5	9, 13 <sup>a)</sup>

注: 数据来自 Barrington 等 (1996a)。

a) 第一个值针对甲状腺切除患者, 第二个值是针对随访患者。

表 10.7 为把与  $^{131}\text{I}$  治疗患者接触的人员剂量限制在  $1\text{ mSv/a}$ ，  
根据不同模式提出的旅行限制建议的比较

活度/MBq	乘私人交通工具/h (d)	乘公共交通工具/h (d)
200	24 (24)	8.0 (3.5)
400	24 (24)	4.0 (1.5)
600	24 (24)	2.5 (1.0)
800	24 (24)	2.0 (0.5)

注：数据来自 Leslie 等 (2002) 和 O'Doherty 等 (1993)；

表中括号内的值来自 O'Doherty 等 (1993)。

## 10.6 在边境、机场等处的辐射探测器

(120) 体内存在可探测到的  $\gamma$  辐射体的放射性核素治疗患者免住院时，应考虑的一个因素是在有辐射探测系统的工作场所、边境、机场和其他区域受到意外检测 (IAEA, 2002b)。对出院后回到有辐射探测系统的区域 (如核电厂和研究实验室) 工作的患者也有这种考虑。对于回到工作单位的患者来说，通常没有太大困难，因为很了解他们的情况，并在一定程度上进行保安解控。

(121) 当患者在机场等地接受检测时，情况要复杂得多。因为装备这些仪器的目的在于限制非法放射性物质的运输及探测不易被注意的失看管源 (孤儿源) 的运输。虽然许多医用放射性核素寿命短，但残留放射性在几天或几周内仍可以被现有的探测系统发现。在边境的多数警报并不是由于非法放射性物质所引起，而是由于医用放射性核素或天然的放射性物质引起的“无辜”警报。一旦出现涉及人员的警报，通常要求当事人再通过一次探测器检测仪器处，如再出现警报信号，则当事人要与所携带物品分开进行评估。当然，最好是检测设备可以测量  $\gamma$  能谱并能够识别出是何种放射性核素。

(122) 患者接受治疗后，许多医师会给患者一份信息卡，注明进行的医学处理，但这可能不被缺乏训练的保安人员所接受。IAEA 已经注意到将非法材料随同合法的放射性核素一起运输的可能性，结果是，许多患者受阻并遭到质疑 (Buettner 和 Surks, 2003)。最好的建议可能是患者不要经常去大型公共场所 (机场、边境口岸、地铁、船舶和公共建筑)，除非他们愿意去体验一些不方便的经历。如果给予这样的劝告，要使患者清楚认识到检测设备是极其灵敏的，能测到的辐射远低于影响健康的水平。就现有技术水平，能够

在 2~3 m 处探测到约 0.01 MBq 的  $^{131}\text{I}$  活度。

## 10.7 家庭环境中的照射

(123) 对接受放射性碘治疗的患者家属和陪护者所建议的限制差异很大, 原因是多方面的。如果以测量某一特定距离的瞬时剂量率替代有效剂量, 建议的限制将过于严格, 是实际需要的 2 倍或更多。某些研究人员采用点源或线源进行了体模测量, 存在一定差异。许多模型中还包含有关于患者体内放射性碘清除动力学的假设。最后, 差异还来源于对旅行方式、共同睡眠的时间、与亲属的距离等方面的假设。许多这样的因素在国家间及同一个国家不同的家庭间, 都有很大差别。在使用模型和做出行为假设时, 作为审慎可取的做法, 应该用第 67 百分位数 ( $P_{67}$ ) 至第 95 百分位数 ( $P_{95}$ ) 之间的值, 而不是用平均值。最后, 对亲属和陪护者的实测剂量可能比模型估算更有意义。

(124) Hilditch 等 (1991) 测量了甲状腺功能亢进症患者接受碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 化钠治疗后不同时间的甲状腺残留活度百分比, 提示这些值可以用于确定公众/儿童和患者接触的时间限制。在美国核管会管理条例的修订本 (1997b) 中, 不再依据残留活度, 而是依据对公众和陪护者的估计剂量来决定治疗后患者是否免住院。其假设是来自患者的污染不大可能导致其他人员受到显著的剂量。Johnson 等 (2002) 测量了接受放射性碘治疗的甲状腺癌患者亲属的甲状腺活度。最大的甲状腺吸收导致的有效剂量为 0.08 mSv。新生儿最大的甲状腺吸收导致的有效剂量为 1.4 mSv。

(125) 对接受放射性碘治疗的患者引起的家中危险已经进行了数十年的研究。早期的研究显示, 当甲状腺功能亢进症患者碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 化钠残留活度低于 740 MBq 时免住院, 在其亲属中测到的碘活度非常低。尽管认为外照射剂量更重要, 但也远小于当时建议的剂量限值 (Buchan 和 Brindle, 1970, 1971)。另一项早期研究也认为, 在大部分病例中, 对亲属的外照射剂量大大超过交叉污染。然而, 在许多亲属中, 还是可以检测到甲状腺放射性 (Jacobson, 1978)。

(126) 在已发表的文献中, 对患者在家中的限制建议差异很大。在这里举几个例子 (详见附录 B)。Leslie 等 (2002) 指出多数模型过高估计了放射性碘在短距离的剂量率。他们应用了成人和婴儿的体模。在与患者接触、距离为 1 m、2 m 处测量成人人体模接受的剂量, 并在与患者接触的两个部位 (患者将婴儿抱在肩膀和在腰部) 测量婴儿体模受到的剂量。体模中测得的剂量显著低于其他

模型预测的剂量，如果测量正确，他们认为当前广泛应用的患者接触限制可能需要放宽很多。表 10.8 比较了 O'Doherty 等（1993）和 Leslie 等（2002）的研究结果，并揭示了主要的差异，尤其在与配偶共寝和脱离工作方面。对亲属剂量的实际测量是最准确的。O'Doherty 等（1993）建议的导则在表 10.9 中给出。

**表 10.8 为限制与  $^{131}\text{I}$  治疗患者的接触者所受到的照射不超过 1 mSv/a,**

根据不同模型提出的在工作时和在家中的限制建议的比较

活度/ MBq	脱离工作 岗位的时间/d	与伴侣分开 睡的时间/d	限制与婴儿密切 接触的时间/d
200	0 (0)	0 (15)	10 (15)
400	0 (4)	0 (20)	15 (21)
600	0 (6)	0 (24)	18 (25)
800	0 (8)	0 (26)	20 (27)

注：数据来自 Leslie 等（2002）和 O'Doherty 等（1993）；

表中括号内的值来自 O'Doherty 等（1993）。

**表 10.9 甲状腺功能亢进症患者  $^{131}\text{I}$  治疗后,**

对其同事和亲属的剂量限制为 5 mSv 和 1 mSv 时提出的导则值

活度/ MBq	离开工作 岗位/d	分睡时间 <sup>a)</sup> / d	限制与 2 岁以下儿童 接触的时间/d	限制与 2~5 岁儿童 接触的时间/d	限制与 5~11 岁儿童 接触的时间/d
200	0 (0)	1 (15)	2 (15)	0 (11)	0 (5)
400	0 (3)	7 (20)	8 (21)	3 (16)	0 (11)
600	0 (6)	11 (24)	11 (24)	6 (20)	1 (14)
800	0 (8)	13 (26)	14 (27)	9 (22)	3 (16)

注：数据来自 O'Doherty 等（1993）；

表中括号中的值是将剂量限制为 1 mSv 而建议的值。

a) 假设睡眠为 8 h，距离为 1 m。

(127) 在比利时的一项关于甲状腺癌患者治疗并住院 2 d 后离院的研究中发现，与患者分床睡 8 d，患者的配偶 2 周内的中位剂量当量为 0.17 mSv（范围 0.02~0.49 mSv）；而与患者共寝的配偶 2 周内的中位剂量当量为 0.24 mSv（范围 0.05~0.53 mSv）。甲状腺功能亢进症患者配偶的相应数值分别为 1.07 mSv（范围 0.22~1.27 mSv）和 1.01 mSv（范围 0.05~5.23 mSv）。上述结果提示与患者共寝使配偶的受照剂量增加了 0~40%（Mathieu 等，1997）。

(128) 比利时的一项多中心研究，报道了 52 例接受中位活度为 759 MBq、平均活度为 370 MBq（范围 185~1 665 MBq）治疗的甲状腺功能亢进症患者亲属的数据（Monsieurs 等，1998）。门诊患者和住院患者的亲属



平均剂量分别为 0.6 mSv (范围 0~2.0 mSv) 和 0.8 mSv (范围 0.4~1.7 mSv)。住院患者的免住院条件是, 距患者 1 m 处的剂量率小于 20  $\mu$ Sv/h。还研究了睡眠安排, 患者与配偶分开睡眠 21 d 后, 所有配偶的剂量均低于 1 mSv。

(129) 对英国 5 个医疗中心的甲状腺功能亢进症患者的一项研究表明, 患者接受中位活度 388 MBq (范围 200~608 MBq) 的治疗, 家庭中所有成年人的外照射剂量均低于 5.3 mSv (Barrington 等, 1999)。研究了睡眠安排的影响后, 给出了两类建议(A 和 B): A 类建议中, 对接受活度为 200 MBq、400 MBq、600 MBq 和 800 MBq 的患者要求分开睡眠的时间分别为 1 d、5 d、9 d 和 12 d; B 类建议中, 相应地要求分开睡眠的时间分别为 15 d、20 d、24 d 和 26 d。采纳了 B 类建议的成人剂量是采纳 A 类建议成人剂量的 32%, 见表 10.9。

(130) Barrington 等 (1996a) 估算了在甲状腺癌患者没有遵守限制规定的情况下, 其同事和亲属可能受到的潜在剂量, 结果见表 10.10。

表 10.10 如甲状腺癌患者未遵守限制规定, 对其同事和亲属受到的累积剂量估算

活度/ MBq	同事	配偶	2 岁以下儿童	2~5 岁儿童	5~11 岁儿童
1 850	1, 2	18, 26	25, 33	13, 17	7, 9
3 700	3, 5	35, 52	50, 66	26, 35	13, 18
5 550	4, 7	53, 78	75, 99	38, 52	19, 26
7 400	5, 9	71, 104	100, 132	51, 69	26, 35

注: 数据来自 Barrington 等 (1996a);

表中数据第一个值是随访甲状腺癌患者, 第二个值是对应碘清甲患者的。

(131) 此外, Barrington 等 (1996a) 还发表了要求患者同事和亲属的剂量低于 1 mSv 的剂量限制导则, 见表 10.11。

表 10.11 对甲状腺癌患者的同事和亲属, 剂量限制为 1 mSv 而提出的导则值

活度/ MBq	离开工作 岗位的时间/d	与配偶分睡及限 制接触的时间/d	限制与 2 岁以下儿童 接触的时间/d	限制与 2~5 岁儿童 接触的时间/d	限制与 5~11 岁儿童 接触的时间/d
1 850	1, 3	3, 16	4, 16	3, 13	2, 10
3 700	2, 7	4, 20	4, 20	4, 17	3, 13
5 550	2, 10	4, 22	5, 22	4, 19	3, 16
7 400	2, 12	5, 23	5, 24	4, 21	4, 17

注: 数据来自 Barrington 等 (1996a);

表中数据第一个值是针对随访甲状腺癌患者, 第二个值是针对碘清甲患者。

(132) 英国放射学研究所(1999)的近期建议中, 给出较短的限制期, 见表 10.12。

表 10.12 对  $^{131}\text{I}$  治疗后甲状腺功能亢进症患者的行为限制建议

限制	30~400 MBq	400~600 MBq	600~800 MBq
与儿童或孕妇的始终密切接触/d	9	12	14
与儿童或孕妇过长时间的接触/d	21	25	27
不与成人同床睡/d	—	4	8
避免与其他人过长时间接触/d	—	—	1

注: 数据来自英国放射学研究所(1999)。

(133) 对于缺乏知情能力的儿童, 应当向能为儿童尽父母责任的人员提供辐射防护方面的忠告。在一些国家, 父母可以代表他们的孩子知情同意, 但是剂量限值仍然适用。ICRP 第 60 号出版物(ICRP, 1991)指出, 在满足 5 年内平均剂量不超过 1 mSv/a 的前提下, 在特殊情况下, 单独一年内的有效剂量可允许高一些。ICRP 以前的建议没有提及父母对儿童辐射受照的知情同意问题。放射性碘治疗后, 应立即停止哺乳。

(134) 英国的一项关于在甲状腺功能亢进症患者离院后接触的亲属中实际测量外照射剂量的研究显示, 89%的儿童受到的剂量小于 1 mSv。然而, 值得关注的是, 35%的 3 岁及以下儿童接受的剂量超过 1 mSv, 提示对幼儿需采取特殊的防护措施(Barrington 等, 1999)。比利时的研究数据显示, 甲状腺癌患者免住院后, 如果儿童离开自己家庭生活 8 d, 儿童的剂量为 0.08 mSv (范围 0~0.35 mSv); 对于甲状腺功能亢进症患者, 相应的剂量为 0.13 mSv (范围 0.04~3.12 mSv)(Mathieu 等, 1999)。Mathieu 等(1999)指出, 如果限制患者之外的其他成人受到的剂量不超过 1 mSv, 那么要等到患者甲状腺活度小于 300 MBq 时才可以与患者密切接触。他们同时建议, 患者甲状腺活度小于 100 MBq 时才可以与幼儿密切接触, 患者甲状腺活度小于 50 MBq 时才能与婴儿和孕妇密切接触。有些研究人员认为短期住院可能更适合与儿童共同生活的患者(Reiners 和 Lassmann, 1999)。因为这样做, 可以避免发生年幼儿童爬到正在睡觉的母亲床上的情况发生。

(135) 欧洲委员会(1998)提出了对不同类型陪护者的剂量约束值建议, 比 ICRP 建议的内容更为详尽, 在表 10.13 中给出。

表 10.13 对不同类型陪护者的剂量约束值

陪护者类型	提出剂量约束值的原因（危险、习惯）	剂量约束值/mSv
第三者 亲属和密友	是公众剂量限值的一部分	0.3
孕妇	保护未出生孩子	1
从出生到 2 岁的儿童	与父母的密切身体接触	1
3~10 岁儿童	与未出生儿童具有同样的危险	1
60 岁及以下成人	危险是幼儿的 1/3~1/2 对患者配偶的特定建议 不适用于安慰病情严重的住院患者的情况	3
超过 60 岁的成人	危险是一般人群水平 1/10~1/3	15

注：数据来自欧洲委员会（1998）。

# 11 关于免住院标准的国际和国家指导原则

- 免住院标准的基础是公众剂量限值以及患者亲属和陪护者的剂量约束值。尽管如此，用以决定患者免住院或住院的标准差异很大。当前免住院标准一般有两种形式，一种是基于个体情况和对患者外其他人的预期剂量，另一种是基于残留活度（通常遵循保守的假定）。

- 由于不同国家乃至同一国家内人们生活方式习惯的不同，为免住院标准制定单一的模式不符合最优化原则。建议患者的免住院应当基于他们家庭的具体情况（而不是对残留活度和最坏情形的假设）。同时建议，许多互为毗邻的国家应当制订统一或相近的患者免住院方案。

（136）ICRP 未曾提出关于使用开放性放射性核素治疗的患者免住院标准的建议。相反，只是建议了医院工作人员职业受照的剂量限值、公众的剂量限值和陪护者的剂量约束。因此，ICRP 尚未设置要求患者住院的残留活度水平。如能满足剂量限值和剂量约束的要求，可以不考虑残留活度水平而让患者免住院。

（137）下文回顾了已用于不同国家和地区的免住院标准。在已试验的多种不同的方法中。最普遍的方法是基于活度或剂量率的免住院标准，要求计算或估计亲属、陪护者和公众预期接受的剂量。模型和假设中的差异导致患者免住院标准的很大不同。其后果是，生活在执行保守免住院标准的国家的患者可能到其他国家寻求治疗（所谓的“核旅行”）。

（138）近期发表的大量文献报道了对外照射剂量率和潜在污染的实际测量结果。根据这些发现，表明在一些国家采用的免住院标准过于严格，且只注意辐射防护而未经适当的正当化和最优化。Beierwaltes 和 Widman（1992）指出，虽然源于放射性碘治疗患者的外照射剂量率和污染是可测量的，但由于水平很低，并不能证明存在有害效应的实际危险。

(139) 《国际电离辐射防护与辐射源安全的基本安全标准》(简称基本安全标准, BSS.IAEA, 1996) 规定了患者免住院时的最大残留活度。BSS 指出: “……患者在体内的放射性物质活度降至一览表 III 表 III-VI 规定的水平以下之前不得免住院”。这一指导水平仅针对  $^{131}\text{I}$ , 即接受  $^{131}\text{I}$  治疗的患者免住院时体内最大放射性活度为 1 100 MBq, 虽然有个脚注: “在某些国家, 将 400 MBq 水平用作良好实践的衡量标准”。

(140) IAEA 指出, 接受放射性核素治疗后的患者, 只有在残留活度衰减到可接受的水平以后才能离开医院。审管部门应该按照国际标准(即 BSS, 一览表 III, 表 III-VI), 并在考虑当地条件和患者家里其他成员可能受到的照射后, 确定这个水平。此外, 应当在患者免住院前估计或测量其活度水平, 并记录结果。在免住院前应该以书面和口头指示的形式告知患者, 为保护他们的亲属及他们可能接触到的其他人所需采取的预防措施。对于老人或儿童, 可能需要采取特别的预防措施 (IAEA, 2002a)。

(141) 欧洲国家已采用或正在准备采用欧洲基本安全标准 (European Union, 1996) 和医疗照射标准 (European Union, 1997)。欧洲原子能共同体 (EURATOM, 1997) 关于  $^{131}\text{I}$  治疗后的辐射防护导则相当严格, 对有年轻家庭成员且接受 400 MBq  $^{131}\text{I}$  治疗后的患者可以有长达 2 周到 3 周的行为限制。在欧盟内部, 各成员国应用的导出残留活度约束值从 95 MBq 到 800 MBq 不等, 但大多数成员国的导出残留活度约束值设置为 400 MBq 到 600 MBq。

(142) 现在欧洲甲状腺学会赞同, 如果患者遵守一定的限制, 活度高达 800 MBq 的  $^{131}\text{I}$  治疗可在门诊进行 (European Thyroid Association, 1996)。欧洲原子能共同体基本安全标准 96/29 (EURATOM BSS 96/29) 陈述的有效剂量限值 1 mSv/a, 并不适用于“那些并非是他的职责、明知会受到照射却自愿支持和安慰正在接受医疗诊断或治疗的住院患者或门诊患者而带来的个人所受照射” (European Union, 1996)。

(143) 欧洲委员会 (European Commission, 1998) 声明: “通常, 甲状腺癌患者的放射性碘治疗只能在患者住院时进行。”

(144) 大量欧洲出版物中提及下列的剂量约束值: 儿童与胎儿, 1 mSv; 60 岁及以下的成人, 3 mSv; 超过 60 岁的成人, 15 mSv; 第三者或普通公众, 0.3 mSv (European Commission, 1998)。这些值与瑞典的管理法规一致。在瑞典, 如果患者体内的  $^{131}\text{I}$ 、 $^{32}\text{P}$  和  $^{90}\text{Y}$  活度分别低于 600 MBq、1 200 MBq

和 1 200 MBq，则不要求患者住院（Swedish Radiation Protection Institute, 2000）。

（145）在德国，几乎所有接受放射性碘治疗的患者必须住院至少 48 h。免住院的限值为 1 mSv 的公众受照剂量，对应于距患者体表 2 m 处测到的剂量率为 3.5  $\mu$ Sv/h。考虑到  $^{131}\text{I}$  的有效半减期为 7 d，患者免住院的活度限值为 250 MBq。对于有不同生物动力学情况的患者，只要公众剂量不超过 1 mSv，或者是对于心理问题难以解决的患者，免住院活度水平可略高一些。

（146）在日本，接受  $^{131}\text{I}$  治疗的患者，如果体内活度低于 500 MBq 或距患者体表 1 m 处的剂量率低于 30  $\mu$ Sv/h，就可以免住院。接受  $^{89}\text{Sr}$  治疗的患者可在体内残留活度低于 200 MBq 时免住院。俄罗斯当前的患者免住院标准以公众剂量不超过 1 mSv 为基础。

（147）在澳大利亚和新西兰，有几个小组正在研究与用治疗量开放性放射性核素治疗患者相关的辐射防护和安全问题。这包括南澳大利亚医院和大学辐射安全官员小组，以及澳大利亚和新西兰核医学学会。目前的免住院建议草案实质上是基于对公众、儿童和怀孕妇女的剂量限值 1 mSv/a，以及对明知会受到照射却自愿照料患者的朋友或亲属的剂量限制 5 mSv/a。作为剂量限值的补充，也应用了 ALARA 原则（考虑了社会因素和经济因素后，将剂量保持在可合理达到的尽量低的程度）。有规定要求，如果距患者体表 1 m 处的外照射剂量率超过 25  $\mu$ Gy/h，不应让患者离开控制区而进入非控制区（ARPANSA, 2002）。此外，还有一些与患者免住院相关的建议，是基于将预期排出的活度与特定放射性药物的年摄入量限值比较。

（148）在英国，一个咨询委员会最近提出了一份基于国家和国际建议的指南。它实质上只是对良好临床实践的指南，但并不包括任何关于患者免住院的指导（Administration of Radioactive Substances Advisory Committee, 2000）。在《医学物理与工程研究所关于医学和牙科学的指导性说明》（Medical and Dental Guidance Notes of the Institute of Physics and Engineering in Medicine. NRPB, 2000）中可找到这份指南。基于对不同人群组的潜在剂量，判断患者是否可以免住院。对慰问者和陪护者每次治疗程序中的剂量约束值建议为 5 mSv，相应的剂量限值未给出数值。对其他家庭成员，其值分别为 5 年内 1 mSv 和 5 mSv，对普通公众，其值为 5 年内 0.3 mSv 和 5 mSv。

（149）在美国，以剂量为基础的患者离院方案是三十多年以前制订的。国家辐射防护和测量委员会于 1970 年指出，由于不同的放射性核素照射量率

和半衰期差别很大，对判定患者离院更有意义的根据是与患者可能有关系的其他人员受到的潜在照射（NCRP，1970）。

（150）1997年，美国核管会对放射性物质治疗后患者离院的管理条例进行了修订，将基于活度的限值改为基于剂量的限值（USNRC，1997b）。新管理条例是以最大受照个人的有效剂量当量不大可能超过 5 mSv 为基础（表 11.1）。可使用一个活度和剂量率缺省值表，或者是对特定患者进行剂量计算，来表明是否符合剂量限值。没有专门针对孕妇受照的指导原则，但它的确指出，在受抚养的儿童受到的有效剂量有可能超过 1 mSv 时，则必须提供书面指导。

表 11.1 美国核管委会批准的患者离院的活度和剂量率上限值

放射性核素	活度/GBq	距患者体表 1 m 处的剂量率/ (mSv/h)
<sup>198</sup> Au	3.5	0.21
<sup>67</sup> Ga	8.7	0.18
<sup>123</sup> I	6.0	0.26
<sup>131</sup> I	1.2	0.07
<sup>111</sup> In	2.4	0.2
<sup>32</sup> P	A	A
<sup>186</sup> Re	28	0.15
<sup>188</sup> Re	29	0.20
<sup>153</sup> Sm	5.2	0.06
<sup>89</sup> Sr	A	
<sup>99m</sup> Tc	28	0.58
<sup>201</sup> Ti	16	0.19
<sup>90</sup> Y	a	
<sup>169</sup> Yb	0.37	0.02

注：a 由于对公众造成的照射极小，没有给出数值。

（151）需要针对下列有效措施给予专门指导：与其他人保持距离，尽量减少在公共场所活动的时间，采取减少放射性污染播散的预防措施，采取预防措施的持续时间。通常情况下，如果离院时的活度或剂量率值达到表 11.1 所示值的 20% 以上，就要求提供指导意见。

(152) 由于是基于每种放射性核素的物理半衰期而不是有效半减期，表 11.1 中给出的活度和剂量率是保守的。这将导致对公众、患者的亲属和陪护者受照剂量的过高估计。如果是对特定的患者进行剂量计算，剂量估算将更为真实和妥当，患者可在较高的活度水平免住院。事实上，在美国即使体内  $^{131}\text{I}$  活度高达 8 000 MBq，愿意配合的有行为能力的患者也可常规免住院。

(153) Coover 等 (2000) 最近提出一种简化的方法，以满足美国核管会的管理条例要求。通过使用数学模型，得到一个考虑了驻留因子 (OF) 的剂量计算用表 (表 11.2)。结果表明，绝大多数放射性碘治疗甲状腺癌的门诊患者，施予活度可达 7 400 MBq 或更高。该方法要求医师确定 3 个不同时期的驻留因子 (OFs)：给药后 8 h 内的预平衡期驻留因子 ( $\text{OF}_p$ )；为期 2 d 的约束期驻留因子 ( $\text{OF}_c$ )；非约束期驻留因子 ( $\text{OF}_{uc}$ )，OF 是用亲属或陪护者在距患者 1 m 处停留的时间百分率来确定的。在约束期、患者应在单独的卧室睡觉。下文给出了该方法的一个应用示例。

**表 11.2 根据 3 个不同时期的驻留因子，为使接受放射性碘治疗的甲状腺癌患者的亲属和陪护者的剂量保持在 5 mSv 以内，患者可接受的最大施予活度值** MBq

$\text{OF}_p$	$\text{OF}_c = 0.125$ $\text{OF}_{uc} = 0.25$	$\text{OF}_c = 0.125$ $\text{OF}_{uc} = 0.50$	$\text{OF}_c = 0.25$ $\text{OF}_{uc} = 0.25$	$\text{OF}_c = 0.25$ $\text{OF}_{uc} = 0.50$
0	20 600	12 700	1 5000	10 300
0.25	13 200	9 800	11 100	8 300
0.75	8 400	6 700	7 300	6 000

注：数据来自 Coover 等 (2000)；

表中最大给药活度为约数值；

假设吸收分数为 0.05 且约束期为 2 d 的活度。

(154) 一名 29 岁的妇女与其 6 岁的女儿一起生活，现在因残留的甲状腺癌需接受放射性碘治疗。她的女儿每天在学校 8 h。母亲将在星期一上午接受放射性碘治疗，治疗后将回家并在家独处 8 h。经专家咨询，约束期和非约束期的驻留因子均为 0.25。使用表 11.2 中的数值，给药的最大活度为 15 022 MBq，由于其有一个小孩，儿童的剂量限值为 1 mSv，表 11.2 的值应除以 5，即给药的最大活度为 3 000 MBq。类似的方法也可应用于甲状腺功能亢进症患者的治疗。





(155) 在新条例发布之后不久的一项审管分析结果表明，无论是住院时间应缩短或者根本无需住院。这将显著降低成本，可为患者和亲属带来情感益处，并减少医院员工所受的职业照射。至少有一位研究人员已经建议其他国家应当采纳美国的方法，因为“该方法有益于患者，同时对其他人的危险水平极低，证明达不到 5 mSv 的剂量水平”（Lubin，2002）。

## 12 抗体治疗

- 放射性碘标记的抗体治疗日益普及，辐射防护问题与其他形式的放射性碘治疗类似。

(156) 迄今为止，有关碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 化钠治疗甲状腺功能亢进症或甲状腺癌的文献占支配地位。近年来，针对非霍奇金淋巴瘤的免疫治疗迅速开展起来。通过免疫球蛋白 G、 $\kappa$  单克隆抗体 ibritumomab 与恶性和正常 B 淋巴细胞表面的 C20 抗原的特异结合，达到放射治疗的目的。抗体可以用  $^{131}\text{I}$  或更常用的  $^{90}\text{Y}$  标记。

(157) 在应用  $^{131}\text{I}$  标记的场合，通常用饱和的碘化钾封闭甲状腺。游离的  $^{131}\text{I}$  会从尿液快速排出。在第一周从尿液的排泄量约为 7%。建议从治疗开始的一周内，性交时使用避孕套，避免深吻以及其他形式的体液转移。告诫患者便后要彻底洗手。当抗体用  $^{90}\text{Y}$  标记时，因为  $^{90}\text{Y}$  是纯  $\beta$  辐射体， $\beta$  射程仅 5 mm (100~200 个细胞直径的和)，不涉及太多辐射防护问题。

(158) 最近关于抗体治疗患者的剂量率的研究已经显示，对于平均给予 3 100 MBq 的活度，给药后立即测量 1 m 处的剂量率，平均值为 0.11 mSv/h，约为用点源模型计算所得到剂量率的 60%。附近最大受照个人 (1 m 处驻留因子 0.25) 的平均估算剂量约为 3 mSv (Siegel 等, 2002b)。患者接受活度范围为 0.94~4.77 GBq 的抗 B1 免疫治疗，对其亲属造成的受照剂量的实测值范围为 0.17~4.09 mSv (Rutar 等, 2001)。值得关注的是，测得的剂量约为用美国核管会方法计算所得剂量的三分之一。

## 13 其他问题

- 医院应当保存有用开放性放射性核素治疗的详情记录，并与书面的注意事项说明书一起提交给患者。

- 一旦患者在接受开放性放射性核素治疗后几个月内死亡，建议与放射防护专家或患者接受治疗的医院联系，以便根据国家有关管理条例，确定应当采取的必要防范措施。

- 多种类型的开放性放射性核素治疗，禁止用于怀孕女性。

- 妇女接受放射性同位素治疗之后应当避免怀孕。避免受孕的时间长短取决于治疗的类型、放射性核素从体内清除的快慢以及确保治疗的疾病已控制。

### 13.1 记录

(159) 所有接受开放性放射性核素治疗的患者在离院时，都应当得到一份书面的详情单（例如钱夹大小的卡片），标明治疗所用的放射性核素、物理或化学形态、施予活度、主治医生的姓名及电话号码。另外，应该给予患者书面的辐射安全防护措施及其何时可以终止的信息。这种卡片的例子见附录 C。

### 13.2 死亡、尸检、尸体掩埋及火化

(160) 虽然为患者签发书面信息提示其已接受放射性核素治疗是一种常见的做法，但不能保证在出现紧急情况或死亡时患者总是随身携带这些信息。

(161) Denman 和 Martin (2001) 报道了接受 800 MBq 放射性碘治疗的患者尸检的实际测量值。该终末期患者接受放射性碘治疗后 3 d 死亡，延迟 2 周进行尸检。估计病理医师接受的最大全身照射剂量为 400  $\mu$ Sv。污染检测

结果：病理学医师的手， $5 \text{ Bq/cm}^2$ ；毛巾， $1.8 \text{ Bq/cm}^2$ ；锯， $5 \text{ Bq/cm}^2$ ；工具， $0.5 \text{ Bq/cm}^2$ ；塑料布， $0.8 \text{ Bq/cm}^2$ ；秤， $0.4 \text{ Bq/cm}^2$ ；地板和墙壁， $1.1 \text{ Bq/cm}^2$ 。

(162) 至少有两例接受放射性碘治疗甲状腺癌患者的尸检报告。一例转移性甲状腺癌患者接受了  $1850 \text{ MBq}$  的放射性碘治疗 (Parthasarathy 等, 1982)。治疗 7 天后患者死亡，尿中排出的放射性碘很少。死后距体表  $10 \text{ cm}$  处的辐射剂量水平为  $0.1\sim 0.5 \text{ mGy/h}$ 。由几个病理学医师来进行尸检，以保持低的个人剂量。受到照射最多的病理学医师的全身剂量为  $220 \mu\text{Sv}$ ，手部剂量为  $5.5 \text{ mSv}$ 。

(163) 第二例报道是患者接受了  $7.4 \text{ GBq } ^{131}\text{I}$  治疗后的尸检。治疗后 10 d 患者死亡，尸体内存留  $1.85 \text{ GBq}$  的活度 (Johnsto 等, 1979)。绝大多数此类患者的排泄曲线所能预测出的残留活度很少。不能很好进行水化或者肾功能差，可能妨碍了正常的排泄速率。测到的胸部表面的剂量率约为  $0.6 \text{ mSv/h}$ 。采取了恰当的辐射防护措施并将接触时间限制在  $90 \text{ min}$  内，放在病理学医师衣袋里的电离室测到的剂量约为  $0.2 \text{ mGy}$ ，手部剂量约为此值的 3 倍。

(164) 关于安全处理尸体的指南很少。在澳大利亚，执业准则 (国家卫生和医学研究委员会, 1987) 包括以下信息：“经口服、静脉或腔内途径给药后，放射性物质可能全身分布或选择性地聚集在特定器官。由患者引起的潜在危害程度随放射性物质给药后时间推移而递减。这种递减部分是由于放射性物质的正常衰变，部分是由于放射性物质自体内的排出。为诊断或示踪检查而接受极小量放射性物质的患者，并不对任何接近尸体的人带来危害，不用进一步考虑。”关于尸检，执业准则规定：“如果尸体所含的放射性活度低于下列数值： $^{222}\text{Rn}$ ，胶体  $^{90}\text{Y}$  或  $^{18}\text{Au}$ ， $150 \text{ MBq}$ ； $^{32}\text{P}$ ， $300 \text{ MBq}$ ； $^{131}\text{I}$ ，密封的  $^{90}\text{Y}$  或： $^{198}\text{Au}$ ， $450 \text{ MBq}$ ；在检查时遵守正常的尸检程序就可以了，除非这样的检查在同一机构内反复进行。如果活度大于上述水平，或者是上述活度水平的尸检在同一个机构内反复进行，建议病理学医师向辐射安全官员寻求咨询”。另外，澳大利亚执业准则 (国家卫生和医学研究委员会, 1987) 指出，如果用于治疗放射性物质有选择性地被某一特定器官吸收 (例如， $^{131}\text{I}$  主要被甲状腺吸收)，应该在检查进行前切除该器官，并从工作区移走，随后与尸体一起处理。如果放射性物质分布于特定的体液中，在进行检查前应当用适当的设备将该体液引流，并按照法规要求，将该体液经污水管道系统安全地处理掉。

(165) 对于尸体的掩埋，澳大利亚执业准则 (国家卫生和医学研究委员

会, 1987) 规定: “正常情况下, 尸体不经防腐处理直接掩埋并不需要特殊的防护措施。如果活度没有超过上述水平, 尸体防腐处理也不需要特殊的防护措施。如果活度高于上述水平, 正常情况下尸体不应进行防腐处理, 但如果需要防腐处理, 应向辐射安全官员寻求咨询。”

(166) 对于尸体火化, 澳大利亚执业准则(国家卫生和医学研究委员会, 1987) 规定, 如果尸体中残留的  $^{90}\text{Y}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{198}\text{Au}$ 、 $^{125}\text{I}$  或  $^{222}\text{Rn}$  活度不超过 1 000 MBq, 或者  $^{32}\text{P}$  的活度不超过 400 MBq, 则不要求采取特殊防护措施。如果尸体所含放射性物质的活度超过上述水平, 应当将尸体存放以待衰变, 直到达到上述限值为止。

(167) 英国关于  $^{131}\text{I}$  治疗后尸体火化和(或)掩埋的管理条例规定活度不应超过 400 MBq (NRPB, 1988)。更新的指导原则已经重申 400 MBq 这一限值, 但如果活度高于 400 MBq, 只要得到辐射防护顾问的建议, 尸体仍然可以掩埋或火化 (NRPB, 2000)。

(168) 瑞典的管理条例与澳大利亚的非常相似。瑞典的管理条例规定, 如果尸体所含  $^{131}\text{I}$  的活度不超过 600 MBq,  $^{32}\text{P}$  活度不超过 400 MBq,  $^{90}\text{Y}$  活度不超过 200 MBq, 则可以在不需要辐射防护措施的条件下进行尸检。如果尸体中  $^{131}\text{I}$  的活度不超过 1 200 MBq,  $^{32}\text{P}$  活度不超过 400 MBq,  $^{90}\text{Y}$  活度不 1 200 MBq, 则可以在不需要辐射防护措施的条件将尸体火化(瑞典辐射防护研究所, 2000)。

(169) 在一些国家, 例如日本, 火葬比土葬更普遍。因此, 放射性核素释放到环境的可能性引起人们更大的关注。UN-SCEAR (2000) 报道, 在 1991 年至 1996 年间, 日本人因甲状腺癌接受  $^{131}\text{I}$  治疗的比率为 0.007 3%, 因甲状腺功能亢进症接受  $^{131}\text{I}$  治疗的比率为 0.023%。假设当时的日本人口约 1 亿 1 千万, 每年约有 2 300 例甲状腺功能亢进症患者和 730 例甲状腺癌患者接受  $^{131}\text{I}$  治疗。其中不到 1% 的患者(约 30 例患者)在治疗后几周内死亡, 因而可能释放到环境并影响公众的放射性碘的量非常少。

(170) 对含有用于姑息治疗骨转移的亲骨性放射性核素的尸体的火化, 问题更多, 因为这些放射性核素的半衰期相对较长 (Aerts, 2000)。如果期望生存期不到 3 个月, 一般不采用这种治疗手段。然而, 如果没到这个时间患者就死亡了, 可能要经过 1 年的时间才能使 Sr 的活度衰变到 1 MBq。 $^{89}\text{Sr}$  物理半衰期为 50.5 d, 存放尸体是不切合实际的。澳大利亚一项对数例尸体火化的研究显示, 绝大部分(如果不是全部的话)放射性残留在骨灰内。为

了遵循当地规定，可能需要存放骨灰，这也取决于患者家属对骨灰处理的意愿。在美国，如果尸体内总放射性核素活度低于 74 MBq，进行火葬没有问题，<sup>131</sup>I 是例外情况，某些火葬场为它制定的限值为 7 400 MBq/a（Silberstein 等，2003）。

（171）最近有一个关于殡葬业者诉求的有趣讨论。有人指出用 2.6 mm 铅皮衬里的棺材重量可能超过 1 000 kg，从许多方面讲，都是不切合实际的（Osborn 等，2002）。至少有一个报告指出，甲状腺癌患者接受放射性碘治疗后死亡并放在用 1.6 mm 不锈钢衬里的棺材内。在尸体的胸部表面测得的剂量率为 0.6 mSv/h，尸体放入棺材后，在棺材表面的剂量率为 0.5 mSv/h，表明这种棺材的屏蔽效果甚微。

### 13.3 哺乳

（172）许多实验室要求所有女性都要说明是否正在哺乳，因为许多放射性药物能够经由母乳转移到婴儿体内。对大多数核医学检查，建议至少在短期内停止哺乳。给予治疗剂量的放射性碘后，应当完全停止哺乳。如果没有做到这一点，婴儿可能出现永久性甲状腺功能减退症，或者以后患甲状腺癌的危险增高。由于哺乳使婴儿受到的剂量如表 13.1 所示。

表 13.1 母亲单次口服 <sup>131</sup>I 后因哺乳使婴儿受到的剂量 Sv/Bq

服用时间	有效剂量
怀孕之前 26 周	0
妊娠第 5 周	0
妊娠第 15 周	$3.4 \times 10^{-16}$
妊娠第 35 周	$1.3 \times 10^{-10}$
出生后 1 d	$5.4 \times 10^{-8}$
出生后 10 d	$5.4 \times 10^{-8}$
出生后 20 d	$5.4 \times 10^{-8}$

注：数据来自 ICRP 第二分委员会关于因食入母乳中的放射性核素所致婴儿剂量的专题组报告草案。

（173）接受放射性碘治疗前 2~3 周停止哺乳对妇女是有益的。好处在于乳房停止分泌乳汁，乳腺组织受到的剂量减少，不存在不依从的危险，胸罩污染和束胸也不会成为问题。

## 13.4 孕妇

(174) 在 2000 年, ICRP 出版了一份关于妊娠与职业辐射照射问题的文件, 指出“对胎儿的剂量限值与对一般公众的剂量限值大体相同”(ICRP, 2000)。同时指出, 妇女宣称怀孕之后, 在后续的妊娠时间内孕体受到的剂量不应超过约 1 mGy。

(175) 某些放射性药物(包括  $^{31}\text{I}$  和  $^{32}\text{P}$ ) 可以迅速通过胎盘, 因此在使用此类放射性核素进行治疗之前, 或为诊断甲状腺癌而进行全身  $^{131}\text{I}$  扫描以前, 应当非常小心地考虑妊娠的可能性。作为规则, 不应该对孕妇使用放射性物质治疗, 除非必须用放射性核素治疗来挽救她的生命。在这种非常罕见的场合, 应当估计胎儿可能受到的吸收剂量及其危险, 并告知患者和提出治疗申请的医师。要考虑的事情可能包括终止妊娠。

(176) 在年龄为 15~45 岁之间的女性中, 甲状腺癌占头颈部癌的 80%。与其他大多数癌症相比, 甲状腺癌相对地说没有侵袭性。因此, 无论手术或放射性碘治疗往往被推迟到妊娠期结束之后。一般说来, 如果有什么治疗要在妊娠期间进行, 那么应当在妊娠的 4~6 个月或 7~9 个月进行。

(177) 放射性碘容易通过胎盘, 胎儿甲状腺在胎龄约 10 周的时候开始蓄集碘。对已经知道妊娠的患者, 放射性碘治疗实质上是禁忌的。如果必须用放射性碘治疗甲状腺癌, 应推迟到分娩以后。如果作这个治疗, 医师也应当知道放射性碘能进入母乳中, 在用了一个治疗剂量后, 哺乳应当完全停止。

(178) 如果一个没有意识到已怀孕的妇女要治疗甲状腺癌, 给她用了放射性碘后却发现已怀孕, 这就成了一个大问题。月经史往往不足以保证患者没有妊娠。在大多数发达国家中, 常规的做法是在给育龄妇女作大剂量  $^{131}\text{I}$  扫描或治疗之前, 先作一个妊娠检查, 除非预先有清楚的输卵管结扎或子宫切除等足以排除妊娠的病史。尽管如此, 仍然可能发生给妊娠妇女作治疗的事情, 其原因或者是假的病史, 或是因为妊娠处于早期, 妊娠试验还没有呈现阳性。

(179) 最常见的情况是, 早期妊娠期间, 主要问题是胎儿受到母亲膀胱内放射性碘  $\gamma$  辐射造成的全身剂量。妊娠期间, 孕体接受的全身剂量范围为 50~100  $\mu\text{Gy}/\text{MBq}$  施予活度。母亲食入放射性  $^{131}\text{I}$  所致胚胎和胎儿剂量如表 13.2 所示。

表 13.2 妊娠期间及妊娠结束后，母亲急性摄取  $^{131}\text{I}$  所致胚胎、胎儿或婴儿受照的剂量系数

时间/周 <sup>a)</sup>	受到最大照射的器官	最高器官剂量	宫内受照有效剂量	出生后的有效剂量	宫内受照和出生后受照的总有效剂量
-130	—	$<1 \times 10^{-15}$	$<1 \times 10^{-15}$	$<1 \times 10^{-15}$	$<1 \times 10^{-15}$
-26	—	$<1 \times 10^{-15}$	$<1 \times 10^{-15}$	$<1 \times 10^{-15}$	$<1 \times 10^{-15}$
受孕时	全部器官	$7.8 \times 10^{-11}$	$7.8 \times 10^{-11}$	$<1 \times 10^{-15}$	$7.8 \times 10^{-11}$
5	甲状腺	$2.4 \times 10^{-11}$	$8.1 \times 10^{-11}$	$<1 \times 10^{-15}$	$8.1 \times 10^{-11}$
10	甲状腺	$3.2 \times 10^{-9}$	$2.1 \times 10^{-10}$	$<1 \times 10^{-15}$	$2.1 \times 10^{-10}$
15	甲状腺	$2.4 \times 10^{-7}$	$1.2 \times 10^{-8}$	$4.3 \times 10^{-15}$	$1.2 \times 10^{-8}$
25	甲状腺	$6.8 \times 10^{-7}$	$3.4 \times 10^{-8}$	$3.3 \times 10^{-12}$	$3.4 \times 10^{-8}$
35	甲状腺	$1.1 \times 10^{-6}$	$5.5 \times 10^{-8}$	$5.3 \times 10^{-9}$	$6.0 \times 10^{-8}$

注：数据来自国际放射防护委员会（2002）。

a) 在给定时间（周）内的摄入，负的时间是指妊娠前的时间。

(180) 通过让患者多喝水以及鼓励频繁排尿，可减少胚胎和胎儿的受照剂量。这一常规建议适用于所有患者，无论患者妊娠与否。

(181) 如果胎龄已超过 8 周（胎儿甲状腺可浓集碘），妊娠是在给碘后 12 h 以内发现的，此时给母亲服用 60~130 mg 稳定性碘化钾（KI）将部分地封闭胎儿甲状腺，减少甲状腺剂量。在放射性碘给药 12 h 以后，此种干预不是很有效。

(182) 在妊娠期间，母亲可能发生甲状腺功能亢进。根据血清激素测定即可做出诊断，而不要根据放射性碘吸收试验或甲状腺闪烁照相来作诊断。放射性碘治疗往往可推迟到分娩之后，在此间隔期间患者可用药物治疗。再强调一遍，成问题的是在患者接受了一次治疗剂量的放射性碘之后，发现她已怀孕。

(183) 接受放射性碘治疗的患者可以成为外照射源，使其怀孕的亲属受到照射。或许更重要的是，这些患者必须注意，不要通过直接接触或间接方式，把放射性碘污染转移给怀孕的亲属。

## 13.5 放射性核素治疗后的妊娠

(184) 偶尔会产生这样的问题，即在作了核医学检查或治疗之后，怀孕



是否合适。大多数女性患者被告知，在接受放射性碘治疗后至少 6 个月内不要怀孕。这一劝告主要不是根据潜在的辐射遗传效应或辐射防护自身的考虑，而是基于有必要确认：1) 甲状腺功能亢进或甲状腺癌已得到控制；2) 患者在妊娠期间不再需要进行另外一次放射性碘治疗。

(185) 偶尔有用  $^{32}\text{P}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  或  $^{131}\text{I}$  间碘苝基胍 (MIBG) 进行治疗的情况。为了使胎儿剂量保持在 1 mGy 以下，应当分别在 3 个月、24 个月和 3 个月内避免妊娠。ICRP 已经提出建议，妇女在其体内残留放射性核素对胎儿可能造成的剂量降到 1 mGy 以下之前，应当避免怀孕。这个问题通常不用考虑，除非使用放射性碘治疗，或用  $^{59}\text{Fe}$  标记（用于代谢试验）或用  $^{75}\text{Se}$  标记的放射性药物（用于肾上腺显像）。由于这些放射性核素的物理半衰期长，而且它们在体内滞留时间较长，建议分别避免妊娠 6 个月和 12 个月。英国的建议列于表 13.3（放射性物质管理咨询委员会，2000）。

表 13.3 为确保胎儿受到的剂量不超过 1 mGy，在放射性核素治疗之后的避孕时间

核素及其形态	用于治疗的疾病	施予的总活度/MBq	避免妊娠时间/月
金 ( $^{98}\text{Au}$ ) 胶体	恶性疾病	10 000	2
碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 化钠	甲状腺功能亢进症	800	4
碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 化钠	甲状腺癌	6 000	4
$^{131}\text{I}$ -MIBG [间碘 ( $^{131}\text{I}$ ) 苝基胍]	嗜铬细胞瘤	7 500	3
磷 ( $^{32}\text{P}$ ) 酸盐	真性红细胞增多症等	200	3
氯化锶 ( $^{89}\text{Sr}$ )	骨转移癌	150	24
钇 ( $^{90}\text{Y}$ ) 胶体	关节炎	400	0
钇 ( $^{90}\text{Y}$ ) 胶体	恶性肿瘤	4 000	1
铈 ( $^{169}\text{Er}$ ) 胶体	关节炎	400	0

注：数据来自放射性物质管理咨询委员会（2000）。

# 附录 A 甲状腺功能亢进症 患者信息单示例

## 甲状腺功能亢进症的放射性碘治疗

您的问题回答如下：

**为什么我需要治疗？**

您得了一种叫做甲状腺功能亢进症的疾病，这就意味着您的甲状腺功能过度旺盛，如果不进行恰当的治疗，将来您的健康会受到影响。

**什么是放射性碘治疗？**

放射性碘治疗是用一种具有放射性的碘进行治疗。碘被甲状腺摄取，仅需少量的放射性活度。您的医生认为这是一种最适合您的治疗方法。

**放射性活度到什么地方去了？**

大部分的碘被甲状腺摄取，其余的碘主要经尿液从您的身体排出。

**碘是如何给药的？**

放射性碘是无色无味的。将要求您吞服含有放射性碘的液体或胶囊。

**会给我带来什么副作用吗？**

可能会出现与治疗相关的轻微的副作用（例如咽痛）。

**我如何用药？**

您的医生会就您正在服用的药物给予您详细说明。

**放射性碘治疗安全吗？**

放射性碘用于治疗甲状腺功能亢进症已有 40 余年的历史，用这种方法治疗的患者已经被仔细、慎重地研究过。认为这种治疗方式是安全、有效的。

**对我以后生育小孩会有额外的危险吗？**

对曾接受放射性碘治疗患者的孩子健康没有影响。然而，我们强烈要求



您在接受放射性碘治疗后几个月内避免妊娠和哺乳，以防您需要再次放射性碘治疗。

#### **对其他人有危险吗？**

没有，如果您按照医生交待的辐射防护措施去做的话，就没有危险。当您开始治疗后，将会向您交待一些应当遵守的简单防护措施。这些仅仅是为避免对其他人造成任何不必要的辐射。可能要告知其他人，使他们意识到有受照的危险。

#### **放射性碘治疗之后我是否需要看医生？**

放射性碘治疗之后您需要看医生并进行血液检测。目的是检查您的甲状腺反应如何。放射性碘治疗需 2~3 个月才能起作用。

#### **我需要多少次放射性碘治疗？**

偶尔需要进行第二次或甚至第三次治疗。第一次治疗后的血液检查将会显示是否需要进一步治疗。

#### **远期疗效如何？**

放射性碘治疗是非常安全的。然而，在您接受治疗后可能发生甲状腺功能减退。这种情况可以发生在治疗后几个月内或多年以后。这就是为什么说血液检测很重要，可以检查您的甲状腺功能，而且在您今后的生活中应当定期检查。如果出现甲状腺功能减退，您将开始用甲状腺素治疗。这没有副作用，仅需要每天服一次药物。

我们要求您了解治疗中所涉及的问题。如果您有任何其他疑问，请您在来医院治疗时进行询问，那时您将有机会与我们一起讨论您所关心的问题。

# 附录 B 放射性碘治疗后的 辐射防护指导书示例

## 在一周左右的时期内应当遵循下列行为准则

来源：欧洲委员会（1998）

### 即刻

口服放射性碘之后 1 h 内不要进食。如果您在 4 h 内发生呕吐，尽量吐到废物桶内，并立即通知核医学科。

### 出行

尽可能避免搭乘公共交通工具。如果不得不搭乘公共交通工具，其时间应限制在大约 2 h 内。不要与亲属或陪护者进行长时间出行（6 h 或以上）。尽量坐在距离其他人至少 1 m 以外的位置。

### 在家中

避免长时间身体接触。尽可能远离家中的每个人，每时每刻与他人保持 1 m 以上的距离，尽可能多的时间保持在 2 m 以上的距离。每天与任何人距离 1 m 以内的时间不要超过 6 h。

与其他家庭成员分床睡眠，如有可能分房间睡眠。

多喝水。

不要与他人共用食物或饮料。有人建议用可抛弃的一次性盘子和器皿，但这是不必要的，可能带来垃圾处理的麻烦。可以接受的是单独地、彻底地清洗盘子并重复使用。

避免接吻和性交。

尽可能每天淋浴，尤其是最初 2 d。浴后彻底清洗淋浴器或浴缸。

您的衣服和卧具应与其他待洗的衣物分开洗。

如果可能，使用一个专用浴室。患者（包括男士）应该蹲下小便。应该

用卫生纸擦干生殖器，并将用后的卫生纸冲入厕所下水道中。应当洗手（如果可能在厕所内进行）。与其他家庭成员分开使用毛巾、面巾及牙刷。

### **婴儿、儿童和孕妇**

如果您有婴儿，最好让其他人来照料婴儿。如果做不到，不要让婴儿离您太近（也就是说，不要抱着婴儿睡觉，不要让婴儿坐在您怀里，哪怕一段极短的时间）。

应该谢绝儿童和孕妇的探视。如果必须如此，应与儿童和孕妇尽可能减少接触时间，并保持最大距离。

重要的是在几周内应避免亲吻您的婴儿或儿童，因为这样做可能将放射性碘转移给他们，给您的孩子带来不必要的危险。

### **哺乳**

如果您一直给婴儿哺乳，在接受放射性碘治疗之前必须停止哺乳。

### **老年配偶**

对于年龄在 60 岁以上的人来说，辐射危害的危险较小；因此，仅仅应当鼓励采取那些易于做到的措施。

### **社交活动**

应该避免去电影院看电影，避免参加与其他人近距离接触几小时的其他社交活动。

### **重返工作岗位**

在至少治疗后 2 d 之内，患者不要去单位上班。如果您不与其他人密切接触，您可以在治疗后回单位上班。如果您从事的工作要与其他人密切接触，离开工作岗位 1 周的时间就可以了，但如果您的工作是为他人准备食品或工作中与儿童或孕妇待在一起，可能有必要离开工作岗位几周。询问您的医生，您需要离开工作多长时间。

### **紧急事件**

如果您遇到交通事故或其他医学急症，您应该告诉医护人员您接受放射性碘治疗的日期、类型及用量。

### **妊娠**

如果您认为自己怀孕了，但在接受放射性碘治疗时不知道自己怀孕，立即告诉您的医生。向您的医生咨询，放射性碘治疗甲状腺功能亢进症或甲状腺癌后，多长时间才能考虑怀孕。典型情况下，4~6 个月内应避免妊娠。

# 附录 C 接受放射性核素治疗的 患者卡片示例

## 放射性核素 说明卡

放射性核素： <b>碘-131</b> 活度
<b>MBq</b>
给药日期...../...../.....

姓名：  地址：
病历号：
医院：
顾问医生：



## 参考文献

- Administration of Radioactive Substances Advisory Committee (2000). UK notes for guidance on the clinical administration of radiopharmaceuticals and use of sealed radioactive sources. Nucl. Med. Commun. 21 (Suppl.): S1-S91.
- Aerts M G (2000). Cremation of Corpses Containing Bone-seeking Radio nuclides Following Medical Treatment. In: Proceedings of the IRPA 10 Meeting, International Society of Radiation Protection, Hiroshima, 14-19 May.
- Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (2002). Discharge of Patients Undergoing Treatment with Radioactive Substances. Radiation Protection Series No.4. ARPANSA. <http://www.arpansa.gov.au/rps-pubs.htm>.
- Barrington S F, Kettle A G, O'Doherty M J, et al (1996a). Radiation dose rates from patients receiving iodine-131 therapy for carcinoma of the thyroid. Eur. J. Nucl. Med. 23: 123-130.
- Barrington S F, Kettle A G, Thompson W H, et al (1996b). RCP guide lines on radiation protection following radioiodine therapy for hyperthyroidism: are they appropriate?. Nucl. Med. Commun., 17: 275.
- Barrington S F, O'Doherty M J, Kettle A G, et al (1999). Radiation exposure of families of out patients treated with radioactive iodine (iodine-131) for hyperthyroidism. Eur. J. Nucl. Med. 26: 686-692.
- Barrington S F, Anderson P, Kettle A G, et al (2003). Doessignificant contamination occur in families of patients treated with 131-I for hyperthyroidism?. Eur. J. Nucl. Med. 30 (Suppl.2), S164 (Abstract 69).
- Beierwaltes W H, Widman J (1992). How harmful to others are iodine-131 treatedpatients: aneditorial. J. Nucl, Med.33, 2116-2117.
- British Institute of Radiology (1999). Patients leaving hospital after administration of radioactive substances. Br. J. Radiol. 72: 121-125.
- Buchan R C T, Brindle M A (1971). Radioiodine therapy to out-patients- the



- radiation hazard. *Br. J. Radiol* 44: 973-975.
- Buchan R C T, Brindle M A (1970). Radioiodine therapy to out-pa-tients—the contamination hazard. *Br. J. Radiol.* 43: 479-483.
- Buettner C, Surks M (2003). Policedetainment of a patient following treatment with radioactive iodine. *JAMA*, 288: 2 687-2 688.
- Castronovo F P, Beh R A, Veilleux N M (1986). Iodine-131 therapy patients: radiation dose to staff. *Radiat. Prot. Dosim.* 15: 45-49.
- Chavin W, Cukrowski C A (1968). Effects of iodine-131 on the thyroid and pituitary of goldfish (*carassius auratus*). *Radiat. Res.*, 34: 170-199.
- Copplestone D, Toal M E D, Johnson M S, et al (2000). Environmental effects of radionuclides—observations on natural ecosystems. *J. Radiat. Prot.*, 20: 29-40.
- Coover L R, Silberstein E B, Kuhn P J, et al (2000). Therapeutic <sup>131</sup>I in outpatients: a simplified method of conforming to the Code of Federal Regulations, Title 10 Part 35. 75. *J. Nucl. Med.* 41: 1 868-1 875.
- Crockett G (2000). Sources and fate of discharges of liquid radioactive waste to public sewers. *Radiol. Prot. Bull.*, 226: 19-24.
- Culver C M, Dworkin H J (1991). Radiation safety considerations for post-iodine-131 hyperthyroid therapy. *J. Nucl. Med.*, 32: 169-173.
- deKlerk J M H (2000). Iodine-131 therapy: inpatient or outpatient?. *J. Nucl. Med.*, 41: 1 876-1 878.
- Denman A R, Martin S (2001). Care of a terminally ill patient following a thyroid ablation dose of <sup>131</sup>I sodium iodide. *Br. J. Radiol.*, 74: 1 077-1 078.
- Dickman P, Holm L, Lundell G, Boice J, Hall P (2003). Thyroid cancer risk after thyroid examination with <sup>131</sup>I: a population-based cohort study in Sweden. *Int. J. Cancer*, 106: 580-587.
- Driver I, Packer S (2001). Radioactive waste discharge quantities for patients undergoing radioactive iodine therapy for thyroid carcinoma. *Nucl. Med. Commun.*, 22: 1 129-1 132.
- Eisenbud M (1973). *Environmental Radioactivity*, 2nd edn. Academic Press, New York.
- Erlandsson B, Mattsson S (1978). Medically used radionuclides in sewage sludge. *Water Air Soil Pollut.*, 9: 199-206.

- Environment Agency (2000). UK Investigation of the Sources and Fate of Radioactive Discharges into Public Sewers. R&D Technical Report, P288. Environment Agency, London.
- European Commission (1998). Radiation Protection 97, Radiation Protection Following Iodine-131 (Exposures due to Outpatients or Discharged In-patients). European Commission, Luxembourg.
- European Thyroid Association (1996).  $^{131}\text{I}$  Therapy for hyperthyroidism to wards 2000. Eur. J. Nucl. Med. 23, BP13-BP15.
- European Union (1996). Council of the European Union: Guideline 96/29 EURATOM to determine basic directions of health protection of public and workers against ionizing radiation related dangers. Official J. Eur. Community No. L, 159/1.
- European Union (1997). Council of the European Union: Council directive 1997/43/EURATOM on health protection of individuals against ionizing radiation in relation to medical exposure. Official J. Eur. Community No. L, 180.
- EURATOM (1997). Expert Group ex. art 31 Guidance of Radiation Protection Following Iodine Therapy Concerning Doses due to Outpatients or Discharged Inpatients. EURATOM, Brussels.
- Evdokimoff V, Cash C, Buckley K, Cardenas A (1994). Potential for radioactive patient excreta in hospital trash and medical waste. Health Phys., 66: 209-211.
- Fenner F D, Martin J E (1997). Behavior of  $\text{Na}^{131}\text{I}$  and meta ( $^{131}\text{I}$ ) iodobenzylguanidine (MIBG) in municipal sewerage. Health Phys., 73: 333-339.
- Griffiths P A, Jones G P, Marshall C, Powley S C (2000). Radiation protection consequences of the care of a terminally ill patient having received: a thyroid ablation dose of  $^{131}\text{I}$  sodium iodide. Br. J. Radiol., 73: 1 209-1 212.
- Gunsekera R, Thompson W H, Harding L K (1996). Use of public transport by  $^{131}\text{I}$  therapy outpatients. Nucl. Med. Commun., 17: 275.
- Hanscheid H, Lassmann M, Reiners C H R, Aulbach F (2003). Monitoring of  $^{131}\text{I}$  incorporation in nuclear medicine personnel by self accomplished measurements. Nuklearmedizin 42: 45-49.

- Harris P J (1959). A study of thyroid function in *Fundulus heteroclitus* (killifish). Biol. Bull. 117: 91-98.
- Hilditch T E, Connell J M C, Davies D L, et al (1991). Radiological protection guidance for radioactive patients-new data for therapeutic  $^{131}\text{I}$ . Nucl. Med. Commun., 12: 485-495.
- Ho S Y, Shearer D R (1992). Radioactive contamination in hospitals from nuclear medicine patients. Health Phys., 62.
- Homer L, Smith A H (2002). Radiation protection issues of treating hyperthyroidism with  $^{131}\text{I}$  in patients on haemodialysis. Nucl. Med. Commun., 23: 261-264.
- Ibis E, Wilson C R, Collier B D, et al (1992). Iodine-131 contamination from thyroid cancer patients. J. Nucl. Med., 33: 2110-2115.
- Ilyin L, Arkhangel'skaya G V, Konstantinov O, Likhtarev I A (1972). Radioactive Iodine in the Problem of Radiation Safety. Atomizdat, Moscow.
- International Atomic Energy Agency (1996). Basic Safety Standards. IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (2002a). Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation, Safety Guide No. RS-G-1.5. IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (2002b). Detection of Radioactive Materials at Borders, IAEA/TECDOC-1312. IAEA, Vienna.
- International Commission on Radiological Protection (1987). Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53, AM-ICRP 18 (1-4).
- International Commission on Radiological Protection (1991). 1990 Recommendations of the International Commission of Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1-3).
- International Commission on Radiological Protection (1996). Radiological protection and safety in medicine. ICRP Publication 73, Ann. ICRP 26 (2).
- International Commission on Radiological Protection (1997). Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste. ICRP Publication 77, Ann. ICRP 27 (Suppl.).
- International Commission on Radiological Protection (1999). ICRP Database of Dose Coefficients. Workers and Members of the Public, CD-ROM Distributed

- by Elsevier Ltd, Oxford.
- International Commission on Radiological Protection (2000). Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84, Ann ICRP 30 (1).
- International Commission on Radiological Protection (2002). Doses to the embryo and fetus from intakes of radionuclides by the mother. ICRP Publication 88, Ann. ICRP 31 (1-3).
- International Commission on Radiological Protection (2003). A framework for assessing the impact of ionising radiation on non-human species. ICRP Publication 91, Ann. ICRP 33 (3).
- Jacobson A P, Plato P A, Toeroek D (1978). Contamination of the home environment by patients treated with iodine-131: initial results. *Am. J. Public Health*, 68: 225-230.
- Johnson T K, Lin E, Haugen B (2002). Contamination as a route for <sup>131</sup>I uptake in family members: implications for public health. *J. Nucl. Med.*, 43 (Suppl.), Abstract.
- Johnston A S, Minarcik J, Rossi R, et al (1979). Autopsy experience with a radioactive cadaver. *Health Phys.*, 37: 231-236.
- Kelly J, Finch H (2002). Benchmarking Public Opinion on the Management of Radioactive Waste. A Report for the Radioactive Substances Division of the Department for the Environment, Food and Rural Affairs. Kerber R, Till J, Simon S, et al (1993). A cohort study of thyroid disease in relation to fallout from nuclear weapons testing. *JAMA*, 270: 2076.
- Larsen P R, Conard R (1978). Thyroid hypofunction appearing as a delayed manifestation of accidental exposure to radioactive fallout in a Marshallese population. Brookhaven National Laboratory Report BNL-24104.
- LaRoche G, LeBlond C P (1954). Destruction of the thyroid gland of Atlantic salmon by means of radioiodine. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 87: 273-276.
- LaRoche G, Johnson C L, Woodall A N (1965). Thyroid function in the rainbow trout: biological and histological evidence of radiothyroidectomy. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 5: 145-159.
- Lassmann M, Hanscheid H, Schelper L F (1998). Measurement of incorporation in family members of patients with benign thyroid disease after radioiodine

- therapy. *Nuklearmedizin*, 37: 120-123.
- Leslie W D, Havelock J, Palser R, Abrams D N (2002). Large-body radiation doses following radioiodine therapy. *Nucl. Med. Commun.*, 23: 1 091-1 097.
- Leung P M, Nikolic M (1998). Disposal of the therapeutic iodine-131 waste using a multiple holding tank system. *Health Phys.*, 75: 315-321.
- Lubin E (2002). Definitive improvement in the approach to the treated patient as a radioactive source. *J. Nucl. Med.*, 43: 364-365.
- Martin J E, Fenner F D (1997). Radioactivity in municipal sewerage and sludge. *Public Health Rep.*: 308-316.
- Marcus C S, Aldrich R (1997). Avoiding solid waste contamination problems from iodine-131 patients. *J. Nucl. Med.* 38, 26N.
- Mathieu I, Caussin J, Smeesters P, Wamberseie A, Beckers C (1997). Doses in family members after  $^{131}\text{I}$  treatment. *Lancet*, 350: 1 074-1 075.
- Mathieu I, Caussin J, Smeesters P, et al (1999). Recommended restrictions after iodine-131 therapy: measured doses in family members. *Health Phys.* 76: 129-136.
- Meck R A (1996). Complete decay of radionuclides: implications for low-level waste disposal in municipal landfills. *Health Phys.*, 70: 706-7 111.
- Monsieurs M, Thierens H, Dierckx R A, et al (1998). Real-life radiation burden to relatives of patients treated with iodine-131: a study in 8 centers in Flanders (Belgium). *Eur. J. Nucl. Med.* 25: 1 368-1 376.
- Moreno Garcia L (2001). Expectations of Patients' Advocates, Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy. In: Proceedings of an International Conference, Malaga, 26-30 March, 2001. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- National Council on Radiation Protection and Measurements (1970). Precautions in the Management of Patients who have Received Therapeutic Amounts of Radionuclides. Report 37. NCRP, Bethesda.
- National Council on Radiation Protection and Measurements (1995). Dose Limits for Individuals who Receive Exposure from Radionuclide. Therapy Patients. NCRP Commentary No.11. NCRP, Bethesda.
- National Health and Medical Research Council (1987). Australian Code of

- Practice for the Safe Handling of Corpses Containing Radioactive Materials (1986). Australian Government Publishing Service, Canberra.
- National Radiation Protection Board (1988). Guidance Notes for the Protection of Persons Against Ionising Radiations Arising from Medical and Dental Use. NRPB, Oxon.
- National Radiation Protection Board (2000). Institute of Physics and Engineering in Medicine, National Radiological Protection Board, Health and Safety Executive, The Health Departments 2000 Medical and Dental Guidance Notes—a Good Practice Guide to Implement Ionising Radiation Protection Legislation in the Clinical Environment.
- Norris D O, Gorbman A (1965). Radiothyroidectomy of larval steelhead trout. Proc. Soc. Exp. Biol. Med., 119: 1 205-1 207.
- Nishizawa K, Ohara, K, Ohshima M, et al (1980). Monitoring of I excretions and used materials of patients treated with <sup>131</sup>I. Health Phys., 38: 467-481.
- Nuclear Energy Agency (1995). The Environmental and Ethical Basis of Geo-logical Disposal of Long-lived Radioactive Wastes. A Collective Opinion of the Radioactive Waste. Management Committee of the OECD Nuclear Energy Agency. NEA, Paris.
- O'Doherty M J, Kettle A G, Eustance C N P, et al (1993). Radiation dose rates from adult patients receiving <sup>131</sup>I therapy for hyperthyroidism. Nucl. Med. Commun., 14: 160-168.
- Olivereau M, La Roche G (1965). Effects of low iodine intake or destructive doses of iodine-131 on pituitary histochemistry of young Chinook salmon. Am. Zool., 5: 234.
- Olivereau M (1957). Radiothyroidectomie chez 1' Anguille. Arch. Anat. Microscop. Morphol. Exptl., 46: 39-59.
- Osborn S, Greaves C, Tindale W (2002). Care of a helpless patient and handling of the radioactive corpse. J. Radiol. Protect., 22: 185-187.
- Parthasarathy K L, et al (1982). Necropsy of a cadaver containing 50 mCi of sodium <sup>131</sup>I odide. J. Nucl. Med., 23: 777-780.
- Pentreath R J (2002). Radiation protection of people and the environment: developing a common approach. J. Radiol. Protect., 22: 45-46.

- Prichard H M, Gesell T F, Davis E (1981). Iodine-131 levels in sludge and treated municipal wastewaters near a large medical complex. *Am. J. Public Health*, 71: 47-52.
- Rallison M L, Dobyns B M, Keating F R, et al (1974). Thyroid disease in children: a survey of subjects potentially exposed to fallout radiation, *Am. J. Med.*, 56: 457-463.
- Reiners C, Lassmann M (1999). Radioiodine ( $^{131}\text{I}$ ) treatment of hyperthyroidism: radiation protection and quality assurance. *Eur. J. Nucl. Med.*, 26: 683-685.
- Ron E, Lubin J H, Shore R E, et al (1995). Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. *Radiat. Res.*, 141: 259-277.
- Rutar F J, Augustine S C, Colcher D, et al (2001). Outpatient treatment with iodine-131 anti-BI antibody: radiation exposure to family members. *J. Nucl. Med.*, 42: 90-915.
- Saenger E L, Kereiakes J G (1980). Reflections on cancer treatment and the federal agency regulations. *Radiology*, 137: 865-866.
- Schomaecker K, Fischer T, Gaidouk M, et al (2000). Exhalation of iodine-131 after radioiodine therapy: time dependence and chemical form. *J. Nucl. Med.*, 41 (Suppl.): 251.
- Shishkanov N G, Bakun Y M, Roziev R A, et al (2001). Radiation protection of members of the public contacting patients after therapeutic treatment with radioiodine. *Med. Radiol. Radiat. Protect.*, 5: 34-46 (in Russian).
- Siegel J A (1999). Outpatient Radionuclide Therapy. In: *Proceedings of the Thirty-Fifth Annual Meeting of the National Council on Radiation Protection and Measurements*, Proceedings No. 21, 7-8 April 1999, Arlington VA. NCRP, Bethesda.
- Siegel J A, Marcus C S, Sparks R B (2002a). Calculating the absorbed dose from radioactive patients: the line-source versus point-source model. *J. Nucl. Med.*, 43: 1 241-1 244.
- Siegel J A, Kroll S, Regan D, et al (2002b). Apractical methodology for patient release after tositumomab and iodine-131 tositumomab therapy. *J. Nucl. Med.*, 43: 354-363.

- Siegel J A, Sparks R B (2002). Radioactivity appearing at landfills in household trash of nuclear medicine patients: much ado about nothing? *Health Phys.*, 82: 367-372.
- Silberstein E B, Taylor A T Jr (1996). Society of Nuclear Medicine Guideline for Bone Pain Treatment. *J. Nucl. Med.*, 37: 881-884.
- Silberstein E B, Buscombe J R, Taylor Jr, A T (2003). Society of Nuclear Medicine Procedure Guideline for Palliative Treatment of Painful Bone Metastases. Version 3.0. Available at [www.snm.org](http://www.snm.org).
- Sodd V J, Velten R J, Saenger E L (1975). Concentrations of the medically useful radionuclides, technetium-99m and iodine-131 at a large metropolitan waste water treatment plant. *Health Phys.*, 28: 355-359.
- Swedish Radiation Protection Institute (2000). Regulations and General Advice on Nuclear Medicine. SSI FS 2000-3.
- Thompson W, Williams N R, Harding L K (1994). A model of excreted activities of radiopharmaceuticals from patients to the drains. *Eur. J. Nucl. Med.*, 21: 876.
- UK Department of the Environment (2002). UK Strategy for Radioactive Discharges 2001—2020. Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation. 2000 Report to the General Assembly with Annexes, United Nations, Vienna.
- US Nuclear Regulatory Commission (1997a). Regulatory Analysis on Criteria for the Release of Patients Administered Radioactive Material, NUREG-1492. USNRC, Washington.
- US Nuclear Regulatory Commission (1997b). Release of Patients Administered Radioactive Materials. Regulatory Guide 8.39. USNRC, Washington.
- Wellner U, Eschner W, Hillger W, et al (1998). The exposure of relatives to patients of a nuclear medicine ward after radioiodine therapy by inhalation of  $^{131}\text{I}$  in the irhome. *Nuklearmedizin*, 37: 113-119.