

ICRP

Publication 94

非密封放射性核種による 治療を受けた患者の解放

社団法人日本アイソトープ協会

非密封放射性核種による 治療を受けた患者の解放

2004年 3月 委員会により承認



Japanese Translation Series of ICRP Publications
Publication 94

This translation was undertaken by the following colleagues.

Translated by

Noboru ORIUCHI, Hiroyuki SAITO, Soshi MATSUMURA

Supervised by

The Committee for Japanese Translation of ICRP Publications,
Japan Radioisotope Association

Hiomichi MATSUDAIRA** (Chair)	Tatsuji HAMADA (Vice-chair)	
Jiro INABA**	Masahito KANEKO	Tomoko KUSAMA
Toshisou KOSAKO**	Yasuhito SASAKI*	Ohtsura NIWA*
Masahiro HIRAOKA**	Seiichi MIZUSHITA	Nobuhito ISHIGURE*
Yoshiharu YONEKURA*	Michiaki KAI*	Masahiro DOI*

* ICRP member at the time. ** Former ICRP member.

邦訳版への序

本書は ICRP の主委員会によって 2004 年 3 月に出版を承認され、Publication 94 として刊行された、非密封放射性核種による治療を受けた患者の解放に関する報告書

Release of patients after therapy with unsealed radionuclides

(Annals of the ICRP, Vol.34, No.2 (2004))

を、ICRP の了解のもとに翻訳したものである。

翻訳は群馬大学大学院医学系研究科 病態腫瘍制御学講座 画像核医学分野 織内昇氏と、それを補佐する群馬大学医学部医学科の齋藤博之氏、松村壮史氏によって行われた。

この訳稿をもとに、ICRP 勧告翻訳検討委員会において、従来の訳書との整合性等につき調整を行った。なお、原文の誤り及び直訳では意味の通じにくい箇所等はことわりなく修正してある。また、他の ICRP 刊行物の引用文について、その出所を項番号で示すなど、いくつかの訳注をアスタリスクで示し、読者の参考に供した。

平成 18 年 11 月

ICRP 勧告翻訳検討委員会

(ii)

(社) 日本アイソトープ協会
ICRP 勧告翻訳検討委員会

委員長 松平 寛通 ((財) 放射線影響協会)
副委員長 浜田 達二 ((社) 日本アイソトープ協会)
委員 稲葉 次郎 (元 (財) 環境科学技術研究所)
金子 正人 ((財) 放射線影響協会)
草間 朋子 (大分県立看護科学大学)
小佐古敏荘 (東京大学大学院 工学系研究科)
佐々木康人 (国際医療福祉大学)
丹羽 太貫 (京都大学 放射線生物研究センター)
平岡 真寛 (京都大学大学院 医学研究科)
水下 誠一 ((独) 日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所)
石樽 信人 (名古屋大学 医学部保健学科)
米倉 義晴 ((独) 放射線医学総合研究所)
甲斐 倫明 (大分県立看護科学大学)
土居 雅広 (放射線医学総合研究所)

目 次

	頁 (項)
抄 録	(v)
招待論説	(vii)
序 文	(ix)
要 点	(xi)
1. 緒 論	1 (1)
2. この報告書の目的	2 (6)
3. 核医学的手法の種類と頻度	3 (10)
3.1. 甲状腺機能亢進症の治療	4 (16)
3.2. 甲状腺がんの治療	4 (17)
3.3. 骨転移の治療	5 (18)
3.4. 腔内治療	5 (19)
3.5. 真性多血症の治療	5 (21)
3.6. 動脈内治療	5 (22)
3.7. 放射免疫療法	6 (23)
4. 治療用放射性医薬品使用後の放射線防護	7 (24)
5. 線量限度と線量拘束値に関する現在の国際勧告	9 (28)
6. ヨウ素 131 による被ばくの決定経路	11
6.1. 総論	11 (35)
6.2. 患者からの外部線量率	13 (42)
6.3. 他の人々の汚染	15 (48)
7. 近親者, 介護者及び公衆に対するヨウ素 131 被ばくからの リスクの大きさと性状	18 (59)
8. 放射性ヨウ素の環境中での経路	21 (72)

9. 非密封放射性核種を用いた治療からの放射性廃棄物の処分	23	
9.1. 総論	23	(81)
9.2. 減衰待ち保管	24	(86)
9.3. 下水, 汚泥及び焼却	25	(91)
9.4. 埋立て	27	(100)
10. 患者の入院又は解放の決定	28	
10.1. 総論	28	(103)
10.2. 病院職員の職業上の線量	31	(110)
10.3. 入院の心理的負担	32	(113)
10.4. 入院の費用便益分析	33	(115)
10.5. 患者の旅行中における他の人々への線量	34	(118)
10.6. 国境及び空港などにある放射線検出装置	35	(120)
10.7. 家庭環境における被ばく	36	(123)
11. 解放規準に関する国際的ガイダンスと国内のガイダンス	41	(136)
12. 抗体治療	46	(156)
13. その他の諸問題	47	
13.1. 記録	47	(159)
13.2. 死亡, 剖検, 埋葬及び火葬	47	(160)
13.3. 授乳	50	(172)
13.4. 妊婦	50	(174)
13.5. 放射性核種による治療後の妊娠	52	(184)
付録 A. 甲状腺機能亢進症の患者情報シートの見本	54	
付録 B. 放射性ヨウ素の治療投与後における 放射線防護の指導の見本	56	
付録 C. 放射性核種治療を受けた患者用のカードの見本	58	
文献	60	

抄 録

非密封放射性核種による核医学治療手技を受けた後には、他の人々への線量を制限する注意が必要であるが、診断手技の場合にはほとんど必要ではない。ヨウ素 131 は、医療従事者、公衆、介護者及び近親者に最大の線量をもたらす。治療で使用される他の放射性核種は、通常、生ずるリスクがずっと小さい純ベータ線放出核種（例えば、リン 32、ストロンチウム 89 及びイットリウム 90）である。線量限度は、患者から公衆と医療従事者が受ける被ばくに適用される。以前、ICRP は、家庭における近親者、訪問者及び介護者に対して、線量限度でなく、数 mSv/エピソード程度の最適化のための線源関連の線量拘束値を適用することを勧告した。今回の報告書は、若年の小児と乳幼児、ならびに、直接の介護又は慰安に従事していない訪問者は、公衆の構成員として扱うべきである（すなわち、公衆の線量限度に従うべきである）と勧告する。

他の人々の被ばくの様式には、以下のようなものがある：外部被ばく；汚染による内部被ばく；そして、環境中の経路である。患者から受ける成人の線量は、主に外部被ばくによる。患者からの唾液による乳幼児や小児の汚染は、子供の甲状腺へ有意な線量を与えることがありうる。子供と妊婦の汚染を回避することは重要である。放射性ヨウ素治療の後、母親は直ちに授乳をやめなければならない。非密封放射性核種による多くの種類の治療は、妊娠女性に対して禁忌である。女性は、ラジオアイソトープ治療の後、しばらくの間妊娠すべきでない。テクネチウム 99m は核医学患者排泄物の環境放出で優越しているが、その半減期が短いため、重要性は限られている。2 番目に大きな放出はヨウ素 131 であり、医学利用の後に環境中で検出されるが、環境へのインパクトは測定できない程度である。治療の後に患者の尿を保管することの利益は非常に小さいように思われる。現代の下水道に放出される放射性核種は、下水道作業者と公衆に線量を与える可能性があるが、公衆の線量限度を十分に下回る。

患者を入院させるか解放するかは個別になされるべきである。患者に残留している放射能に加えて、この決定には他の多くの因子を考慮に入れるべきである。入院は公衆と近親者の被ばくを減らすか、病院職員の被ばくを増加させる。入院は、金銭的及び他のコストのほか、しばしばかなりの心理的負担を含んでおり、それらを分析し、正当化すべきである。放射性ヨウ素治療の後に旅行をする患者は、旅行が 2-3 時間に限られるならば、他の乗客に危険を及ぼすことはまずない。

環境その他の放射線を検出する装置は、放射性ヨウ素治療を受けた患者を治療後数週間にわたって検出することが可能である。そのような検出器を操作する要員は、核医学の患者を特定し、対処するよう特に訓練されるべきである。非密封放射性核種による治療の詳細な記録は病院で保管すべきであり、書面での注意の指示とともに患者に渡すべきである。最近数箇月以内

(vi)

に非密封放射性核種で放射線治療を受けた患者が死亡した場合には、特別な注意を必要とすることがある。

キーワード：核医学；放射線防護；放射性ヨウ素；線量拘束値；放射線治療

招待論説

核医学手法の後の放射線防護

放射性物質は、100年以上にわたって医学に利用されてきた。今日、放射線の医学利用は、最大でかつ増加しつつある人工の放射線被ばく源である。核医学は診断と治療の重要な専門分野になった。ほとんど100種類近くの異なる手技があり、実質的にあらゆる主要臓器系に関する情報を提供する。

原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）は、放射性医薬品による3000万件以上の核医学診断手法と約400,000件の治療手法が世界中で毎年実行されていると推定した（UNSCEAR, 2000）。放射性ヨウ素は1940年代に導入されたが、他にも多くの放射性医薬品が核医学で使われるにもかかわらず、現在でも最も重要な放射性核種である。

非密封放射性核種の使用は患者のみならず他の人々を被ばくさせることがあるため、そのような被ばくからの公衆構成員、近親者及び介護者の放射線防護に関するガイダンスが必要である。国際放射線防護委員会（ICRP）は、非密封放射性核種による治療後に病院から患者を解放することに関して従うべき規準あるいは患者に入院を要求する放射能レベルに関する勧告を提供していなかった。その代わりに、委員会は、公衆に対して線量限度1 mSv/年、近親者、訪問者及び介護者に対して線量拘束値5 mSv/エピソードを拠りどころとしてきた（ICRP, 1991, 1996）。これらの勧告は様々な国で異なって解釈され、線量拘束値は厳格な年線量限度としてしばしば不適切に解釈された。

患者を入院させるか解放するかという決定は、個々の場合に依って決定すべきであり、また患者体内の残留放射能、患者の希望、職業被ばくと公衆被ばく、家族への配慮、費用、及び環境上の側面などを考慮すべきである。第3専門委員会は、この主題を検討するために、1999年に課題グループを設置した。この報告書は、委員会に次期の放射線防護勧告の作成について助言するためにICRPの諸専門委員会によって作成されている一連の文書のうちの1つである。

この報告書は診断及び治療の両方の手法をカバーするが、非密封放射性核種による治療によって医療従事者と近親者が被ばくする主要な線源であるヨウ素131に焦点を当てている。公衆のための注意は診断手法の後ではまず必要ないが、いくつかの治療手法の後では公衆と近親者に対する線量を制限する必要があるかもしれない。

委員会は、2004年4月にウィーンでのその会合で、課題グループの報告書とその勧告を採択した。

放射線被ばくの結果としての甲状腺がんは、胎児、乳幼児及び小児にとって重大なリスクであると考えられる。したがって、これらのグループに対する被ばくを回避するためには、特段の努力を払うべきである。

放射性ヨウ素治療を受けた患者からの他の人々に対する線量は、主に外部被ばくの結果であ

(viii)

る。一般的に用いられる他の非密封治療用放射性核種からの線量は、想定される放射性核種や環境経路に関係なく、公衆の線量限度又は介護者に適用される線量拘束値よりもはるかに低い。

第3専門委員会によるこの報告書は、患者を入院させるか解放するかに関して、貴重なガイダンスを与えている。入院は公衆と近親者の被ばくを減らす、病院職員の被ばくを増加させるであろうし、またかなりの出費にもなりうるため、それを分析し正当化する必要がある。患者が放射性ヨウ素治療の後に2-3時間の旅行をする場合には、他の乗客に危険を及ぼすことはほとんどなく、患者の解放後の制限は乳幼児と小児に焦点をあてるべきである。委員会は現在、乳幼児、小児及び不意の訪問者に対しては5 mSv/エピソードの線量拘束値でなく、公衆の線量限度1 mSv/年を適用すべきであると勧告する。

多くの放射性医薬品は母乳を経て乳児に移行する可能性がある。委員会は、大部分の核医学手法の後、少なくとも短期間は授乳を停止することを勧告する。そして放射性ヨウ素の治療量の投与後には授乳を完全に止めるべきである。さもないと、放射性ヨウ素は乳児に永続的な甲状腺機能低下症を誘発するか、あるいは甲状腺がんのリスクを増すことがある。

いくつかの調査によると、患者の尿との接触を除いて、放射性ヨウ素による汚染のリスクは、無視できるほどではないが、通常低いことが示されている。この報告書は、適切な規制があれば、尿を保管しなくても、放射線治療患者からの排泄物の下水道への処分は職業上及び公衆の両方の線量限度の十分範囲内であることを示している。放射性ヨウ素で治療されている患者の尿を保管することは、ほとんど利益がないように見える。現代の下水道に放出される放射性核種は、下水道作業員や公衆に対して公衆の線量限度より十分低い線量を与えることになる。

委員会は、患者が高い放射能の放射性医薬品で治療された後に尿を保管し、あるいは患者を入院させるべきであると明確に述べているわけではない。その代わりに、委員会は、公衆の線量限度と他の人々に対する線量拘束値を守るべきであると勧告する。その後、最適化を行うべきである。核医学治療後の患者の解放に関して、最適化と、必要な行動制限に対するその影響は、個人の間で異なるかもしれない。

現在の検出機器は非常に感度が高く、健康に関して懸念されるレベルよりもずっと低いレベルで放射線を検出することができる。残留放射能は数日又は数週間にわたって検出できることがあり、検出機器は通常、放射性ヨウ素治療の後数週間にわたって患者の放射能を検出する。そのような検出器を操作する要員は、核医学患者を特定して対処するために特別に訓練されるべきである。多くの医師は患者に医療が行われたことを記載した情報カードを渡すが、これは保安要員に受け入れられないことがある。患者が若干の不便を進んで経験する気がない限り、彼らは主要な公共の地域を旅行しないほうが良いと示唆するのが最善かもしれない。

第3専門委員会によるこの報告書は、非密封放射性医薬品で治療された患者の解放に関する勧告を明確に示す。それはまた、非密封放射性核種の治療投与の後、患者を解放する原則も与える。

LARS-ERIK HOLM

序 文

国際放射線防護委員会 (ICRP) (以下「委員会」という) は長年にわたって、医学における放射線防護と安全についての助言を提供する多くの報告書を出してきた。*Publication 73* (ICRP, 1996) は、この領域の概観である。これらの報告書は放射線防護の一般原則を要約したものであり、医学ならびに生物医学の研究で電離放射線を様々な利用に用いる際のこれらの原則の適用についての助言を提供している。

これらの報告書の大部分は一般的な性格のものであり、委員会は困難が観察されたいくつかの具体的な状況に対処することを望んでいる。そのような問題領域についての報告書は、日常の業務において直接関係する可能性のある人々が利用しやすいスタイルで書かれ、また広く普及させるためのあらゆる努力が払われることが望ましい。

一連の報告書は、1997年9月にオックスフォード(英国)で行われた委員会の会合で着手された。ICRP第3専門委員会の勧告にもとづいて委員会は、医学の放射線防護においてトピックとなっている諸問題についての報告書を作成するために、多くの課題グループを立ち上げた。

それらの報告書のいくつかは、*Publications 84-87* 及び *93* として刊行されている。今回の報告書は、この一連の簡潔で焦点を絞った文書の続きであり、更にいくつかの助言的な報告書が準備されつつある。

非密封放射性核種による治療後の患者の解放に関するこの報告書の草案を書く課題グループは、1999年9月にサンクトペテルブルグ(ロシア連邦)での委員会会合で作業を開始した。その最初の委託事項は、次のようなものであった：(i) 近親者に対する線量拘束値と重要な状況について調べること；(ii) 現在の適用と、線量率と対比した線量を調査すること；(iii) 対立するアプローチを用いることの重要性及び線量と比較されたコストを分析すること；(iv) 放射線源としての患者が扶養する子供に公衆の線量限度の使用を考慮すること；(v) 死亡、剖検、火葬及び埋葬に関する勧告を考慮すること；(vi) 国によって対応が異なるために、いろいろな実際の解決法が必要となるかもしれないことを考慮し、様々な国におけるいろいろな治療方法に対して容易に利用できる勧告を提供すること；及び、(vii) レニウム、サマリウム、リン及びイットリウムを含む全ての関連した線源を考慮すること。2000年10月に米国メリーランド州 Bethesda で行われた委員会の会合で、これらの委託事項は、基礎となる根拠の扱いを拡張すること、環境経路に関して議論すること、他のアプローチのコストと便益に関して議論すること、及び、関係する倫理問題に関して議論することを含むように改められた。

課題グループの構成員は、以下の通りであった：

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

通信メンバーは K. Endo, A. Martinez, K. Parthasarathy

(x)

この報告書の準備期間中の第3専門委員会の構成員は、以下の通りであった：

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

この報告書は、上述の目的に適うよう意図されている。これらの目的にできるだけ役立つために、そのスタイルは *Annals of the ICRP* における委員会刊行物の通常スタイルと2, 3の点で異なっている。

この報告書は、2004年3月に委員会によって郵便投票で出版が承認された。

要 点

- 診断目的の核医学的手法の後には、公衆に対する注意はほとんど必要でない。しかしながら、いくつかの治療目的の手法の後には、公衆、患者の近親者、及びその他の人々に対する線量を制限する必要があるかもしれない。
- ヨウ素 131 は頻繁に使われる高エネルギーのガンマ線放出核種で、物理的半減期が 8 日であるため、非密封放射性核種の治療的投与を含む手法の後、医療従事者、公衆及び近親者に最大の線量を与える結果になる。治療に用いられる他の放射性核種は、主にベータ線放出核種（例えばリン 32, ストロンチウム 89, 及びイットリウム 90）であるため、生ずるリスクは小さい。
- 放射性ヨウ素で治療した患者を解放する場合に、管理すべき放射線治療の主な側面は、他の人々に対する外部被ばくである。しかしながら、これらの患者からの成人に対する典型的な線量ががんを誘発するリスクは非常に低い。
- 放射線被ばくに起因する甲状腺がんは、胎児、乳幼児、及び 20 歳未満の人々にとっての重要なリスクであろう。そしてそれゆえ、乳幼児、小児及び妊婦の汚染を回避するために特段の注意を払うべきである。近親者の体内汚染は、治療の 17 日後に最も起こりやすい。他の人々への体内汚染のリスクは、外部被ばくのリスクほど重要でない。成人の介護者や近親者に甲状腺機能低下症を引き起こすかもしれない高放射能のヨウ素 131 が取り込まれることはほとんどないであろう。
- 非常に放射能の低いヨウ素 131 が、医学利用の結果として環境中に観察される。下水道に直接放流したとしても、物理的半減期が比較的短いため、公衆と下水道作業員に対する線量は公衆の線量限度以下となり、他の線源と比較しても低い。非密封放射性核種の医学利用の結果として放出された放射性核種のレベルが環境影響に結びついたことはない。
- 非密封放射性核種による治療後の患者の解放に関連する線量限度と線量拘束値に関する ICRP 勧告は、国により異なって解釈されている。これらの勧告は、公衆の線量限度に従うべきでない介護者と近親者に対し数 mSv/エピソードの線量拘束値の概念を含んでいる。この線量拘束値は、厳格な年線量限度として不適切に解釈されることがしばしばあった。
- ICRP はいま、数 mSv/エピソードの線量拘束値を乳幼児、若年の小児、及び不意の訪問者に対して適用すべきでないと勧告する。その代わりに、彼らは 1 mSv/年の公衆の線量限度に従うべきである。
- 一部の当局は、残留放射能のみに基づいて患者に入院を要求している。適切な最適化を含む他の重要な因子は考慮されていない。ICRP 勧告は、患者が高放射能の放射性医薬品で治療を受けた後に、尿を保管したり、入院したりすべきであると明確に述べてはいない。その代わりに、ICRP は公衆の線量限度と他の人々に対する線量拘束値を守るべきである

(xii)

と勧告する。その後最適化を行うべきである。

- 最近の刊行物は、患者を入院させるか解放するかを決めるために一部の当局によって用いられている仮定とモデルが、公衆と介護者に対する実際の線量を過大評価している可能性があることを示している。
- 患者を入院させるか解放するかという決定は、個別に決定すべきである。患者の残留放射能に加えて、患者の希望、職業上及び公衆の被ばく線量、家族への配慮、子供の存在、費用、及び環境要因を含む他の多くの因子を考慮に入れて決定すべきである。
- 放射性ヨウ素治療後の授乳の継続は絶対に禁忌である。

1. 緒 論

- **核医学放射線治療は、公衆の構成員、近親者及び介護者を被ばくさせる可能性がある非密封放射性核種の使用を伴う。**

(1) 放射性物質は、100年以上にわたって、悪性及び良性疾患の診断と治療に使われてきた。非密封放射性核種は、注射、服用あるいは吸入されて体内を移動する放射性医薬品である。これらは崩壊するまで体内組織中に局在するか、あるいは様々な経路（例えば尿）を通じて排泄される。この報告書は主として治療のために使われる非密封放射性核種を取り扱う。

(2) 核医学の技術は十分確立されているが、近親者、介護者、及び一般公衆の防護のために必要な諸注意は、公衆の年実効線量限度を1 mSvに下げた1990年のICRP勧告(ICRP, 1991, 1996)に特に照らして、更なるガイダンスを必要としている。

(3) ICRP 1990勧告(ICRP, 1991)の履行については、隣国との間でさえ、ばらばらな解釈が行われてきた。加えて、最近の多数の科学的研究は、患者以外の人々の線量を推定するために従来なされていた仮定の適切さに問題を投げかけている。

(4) 放射性核種の環境経路とそれらの潜在的影響に関する認識とともに、社会的費用ならびに患者と家族の社会的な問題の認識も高まってきている。規制は、放射線被ばくの現実的なモデルとその他の重要な因子に基づいたものであるべきである。

(5) この報告書の目的のためには、いくつかの関係する放射線量がある。臓器の吸収線量はグレイ(Gy)又はミリグレイ(mGy)で表される。1グレイは100ラド(rad)に等しい。職業上及び公衆の線量限度と線量拘束値は、実効線量で表される。これは放射線と組織の両方について荷重されたものである。実効線量はシーベルト(Sv)で表される。1シーベルトは100レム(rem)に等しい。大部分の医療上の意思決定における適用では、1Gyは1Svに等しい。

2. この報告書の目的

- 非密封放射性核種を投与された後の患者の解放に関する規制は、世界中で大きく異なる。規制は、現在の状況を正確に反映した仮定あるいは ICRP 勧告の適切な解釈に基づくべきである。

(6) この報告書の目的は、非密封放射性医薬品を投与された患者の解放に関連する放射線防護の諸側面を明らかにすることである。この文書はまた、ICRP 勧告（特に、柔軟性のある線量拘束値）の統一された理解と実際のな履行を促進することも目的としている。それは、規制担当者、医師、物理士、看護師、技術者及び適切な管理者による使用を意図している。これらの原則は、診断ならびに治療の両目的のための非密封放射性核種の使用に適用される。しかし、診断使用に続く他の人々の被ばくは非常に小さいため、この報告書は非密封放射性核種を治療に用いた場合の被ばくに焦点を当てる。

(7) ここでは非密封放射性核種を治療目的に投与した後に、患者を病院から解放するための原則を報告する。根拠として、現存の規制と法規を形成した従来の仮定と実際の測定との関連の程度に特に関する、基礎となる科学的研究の再検討がある。

(8) この報告書は放射性医薬品を処方された患者の入院に関連するすべての問題を詳述しているわけではなく、厳しく管理された環境からの患者の解放に関する問題に焦点を当てる。公衆、近親者及び介護者の吸収線量、すなわち外部放射線の主要な線源についての広範な調査がある。他の人々への汚染の経路と大きさに関する問題も含まれている。

(9) この報告書は放射性ヨウ素の使用による被ばく経路と線量に集中しているが、これは、非密封放射性核種を用いる治療からの医療従事者、近親者及び介護者の被ばくの主要な線源であるからである。この報告書はまた、医療用線源から環境への放射性ヨウ素の放出を調査し、線量の大きさと、医療従事者、近親者及び介護者のリスクの潜在的なインパクトも評価している。さまざまな臓器と組織に対する放射性ヨウ素の線量に関する情報は、*Publication 53* (ICRP, 1987) に見ることができる。

3. 核医学的手法の種類と頻度

- 甲状腺機能亢進症と甲状腺がんの放射性ヨウ素治療は、非密封放射性核種を投与された患者から公衆及び近親者への被ばくの主要な源である。

(10) 核医学は、患者の診断と治療への放射性医薬品の利用を含む医学の専門分野である。診断手法は、適切な医薬品に標識することで特定の組織に集積する短半減期のガンマ線放出核種を使用する。得られる画像は、機能の情報と解剖学的情報の両方を与える。

(11) よく行われる診断手法には、転移の存在を評価する骨スキャン及び、心筋の灌流とその機能的能力とを検査する心筋スキャンがある。UNSCEARは、診断を目的とした核医学手法が世界中で年間約3,200万件実施されていると推定している（UNSCEAR, 2000）。診断のために使用される大部分の放射性核種は物理的又は生物学的半減期が短いため、放射性医薬品による診断の後で一般公衆と患者の近親者に対する注意は通常必要ない。これに対する2つの例外は、患者が授乳している場合と、甲状腺がんの再発を探すため患者にヨウ素131全身スキャンを行った場合である。

(12) 診断への適用と比較して、治療の件数は非常に少ないが、多量の放射能と生物学的あるいは物理的半減期が長い放射性核種を用いることが多い。治療に用いる放射性医薬品は通常ベータ線放出核種であるが、その多くはガンマ線も放出する。したがって診断手法よりも大きな線量を他の人々に被ばくさせる可能性がある。

(13) 放射性医薬品の使用は最近の10年間で約2倍になった。UNSCEARは、先進国における放射性医薬品治療の頻度が1985-1990年の1,000人につき0.10人から、1991-1996年には1,000人につき0.17人まで増加したと推定している。またUNSCEARは、1985-1990年に世界中で約210,000件の放射性医薬品による治療が実施され、さらに1991-1996年には約380,000件の非密封放射性核種による治療手法が実施されたと推定している。ある特定の国における治療手法の実際の頻度は、世界全体の値とかなり異なる可能性があるため、地方又は地域ごとに放射線防護を評価することがより有効であろう。

(14) 非密封放射性核種による治療の一般的な種類は、液体又はカプセルの経口又は静脈内投与（全身投与）、もしくは閉鎖された体腔へのコロイド懸濁液の注入（腔内治療）である。全身投与の例には、甲状腺機能亢進症又は甲状腺がんに対するヨウ化ナトリウム（I-131）と骨転移に対するストロンチウム89がある。腔内治療の例には、胸腹腔の悪性腫瘍に対するリン酸クロム（P-32）や滑膜切除術のための関節内投与がある。表3.1は、1991から1996年までに行われた非密封放射性核種による一般的な治療手法の年間推定数を示す。

(15) 非密封放射性核種による放射性医薬品治療のさまざまな技術を、以下に簡潔に要約する。

表 3.1. 核医学治療：1991－1996 年の推定年間処置数

疾患	放射性医薬品と投与方法	処置数／先進国の人口 100 万人	処置数／全世界の人口 100 万人
甲状腺がん	¹³¹ I ヨウ化ナトリウム（経口又は i.v. ^a ）	35	15
甲状腺機能亢進症	¹³¹ I ヨウ化ナトリウム（経口又は i.v. ^a ）	110	42
真性多血症	³² P リン酸塩（経口又は i.v. ^a ）	3	1
骨転移	⁸⁹ Sr 塩化物（i.v. ^a ）	5	2
	¹⁵³ Sm ethylene diamino-methylene phosphoric acid（i.v. ^a ）		
滑膜炎	⁹⁰ Y コロイド	7	2
	¹⁶⁹ Er コロイド（関節内注入）		
悪性疾患（甲状腺がん と真性多血症以外）	¹³¹ I <i>m</i> -iodo-benzylguanidine（i.v. ^a ）	b	b
	⁹⁰ Y コロイド（腔内注入）		

出典：United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, (2000)。

^a 静脈注射。

^b 不詳。

3.1. 甲状腺機能亢進症の治療

(16) 甲状腺の機能亢進は、自己免疫疾患（グレーブス病）によるものが最も多い。それほど一般的ではないが、単一の中毒性結節（自律性腺腫）あるいは多結節性甲状腺腫に起因するものもある。これらの全ての疾患で、甲状腺ホルモンの過剰産生による症状が引き起こされる。治療には抗甲状腺薬、手術又は放射性ヨウ素がある。多くの国では、甲状腺機能亢進症の患者の 2/3 以上は、最終的に放射性ヨウ素治療を受ける。放射性ヨウ素は甲状腺に集積して甲状腺細胞を破壊し、その結果、数週又は数箇月間にわたって甲状腺ホルモンの産生が減少する。これは最も一般的な核医学治療である。治療については、はっきり書かれたリーフレット（付録 A を参照）で患者に説明すべきである。

3.2. 甲状腺がんの治療

(17) 甲状腺がんは、肺や骨のほかに、しばしば局所リンパ節にも広がる。正常の甲状腺組織よりは少ないが、多くの甲状腺がんはヨウ素を集積する。多くの甲状腺がんに対する典型的な治療は、外科的ながんと甲状腺を完全に除去することである。その後、ヨウ素を集積するがん細胞がごくわずかでも残っていれば、それを完全に破壊するために、放射性ヨウ素が投与されることがある。寛解又は治癒を達成するためには、何コースかの放射性ヨウ素治療が必要なこともしばしばある。これは 2 番目に頻度が高い非密封放射性核種による治療形式である。

3.3. 骨転移の治療

(18) 多くのがん（例えば前立腺がんと乳がん）は、骨格にびまん性に広がる傾向がある。これらの転移は激痛を伴うことがあるが、広範囲にわたる性質のため、放射線の外照射では手におえない。化学療法に対する反応は様々である。多くの放射性医薬品は静脈内に注射することができ、転移巣に集積して疼痛を緩和するものの、治癒することはない。一般的に使用される放射性医薬品には、塩化ストロンチウム 89, レニウム 186 HEDP (hydroxyethylidene diphosphate), サマリウム 153 EDTMP (ethylene diamine tetra methylene phosphonate) 及びスズ 117m DTPA (diethylene triamine pentaacetic acid) がある。これらは骨髄の機能低下を引き起こす可能性があるため、慎重に使わなければならない。それらは半減期が比較的に長いので、末期の患者には通常投与しない。

3.4. 腔内治療

(19) 腔内治療は、通常、限られた解剖学的スペースにびまん性に広がった腫瘍、関節炎、及び滑膜炎を治療するのに用いられる。いくつかの放射性核種がこの種の治療のために使われる。腫瘍の治療には、限局された解剖学的スペース（例えば胸膜腔又は腹膜腔）へのリン酸ナトリウム又はリン酸クロム (P-32), 金 198 コロイド, 又はヨウ素 131 もしくはイットリウム 90 標識抗体の直接注入が行われる。関節炎又は滑膜炎の治療のためには、イットリウム 90 FHMA (大凝集水酸化鉄 (III)), ジスプロシウム 165 FHMA, 又はエルビウム 169 コロイドの関節腔への直接注入が行われる。これらはベータ線放出核種であるため、患者が死亡するか、又は放射性核種が体腔から漏れない限り、放射線防護に関する注意はほとんど必要ない。

(20) 以下は放射性医薬品によるもっとまれの治療形式である。

3.5. 真性多血症の治療

(21) 真性多血症は、骨髄による赤血球と白血球の過剰産生で特徴づけられる比較的珍しい疾患である。静脈内に投与されたリン 32 は骨に集まる。放出されるベータ線は、軽い骨髄抑制と多くの血球成分の産生低下を起こす。リン 32 は純ベータ線放出核種であるため、放射線に対して必要な注意は最小限である。

3.6. 動脈内治療

(22) 肝細胞がんのようないくつかの腫瘍は非常に血管が豊富で、手術又は化学治療に適していないことがある。このような状況では、供給動脈にカテーテルを配置し、腫瘍の細動脈

や毛細血管に留まる不溶性の放射能標識粒子を注射して、局所的な線量を与えることができる。これは通常緩和的であり、ほとんど治癒的ではない。ヨウ素 131 で標識した油性造影剤やイットリウム 90 マイクロスフェアガラスあるいは樹脂が一般的に用いられる。

3.7. 放射免疫療法

(23) 放射免疫療法は、腫瘍特異抗原に指向性のある放射能標識抗体を使用する。これらの薬剤は普及しつつあり、現在では悪性リンパ腫の治療に使われている。抗体はヨウ素 131 又はイットリウム 90 で標識され、比較的大量の放射能が静脈内に注射される。

4. 治療用放射性医薬品使用後の放射線防護

- 非密封放射性核種による治療後の放射線防護の問題は、医療従事者、介護者及び一般公衆への線量に関する勧告を含んでいる。核医学診断手法の後には、公衆に対する注意はほとんど必要ない。しかしながら、ある種の治療手法の後には、公衆、患者の近親者、及びその他の人々に対する線量を制限する必要があるかもしれない。
- ヨウ素 131 は頻繁に使われる高エネルギーのガンマ線放出核種であるため、医療従事者、公衆、介護者及び近親者に対して最大の線量を与える非密封放射性核種である。治療に使用される他の放射性核種は、通常純ベータ線放出核種（例えばリン 32, ストロンチウム 89 及びイットリウム 90）であるため、生ずるリスクはずっと小さい。

(24) 治療目的に使用される放射性医薬品には、放射線防護上の注意の必要性に大きな違いがある。ある種の放射性医薬品は、ほとんど排泄されずに体内に比較的固定して保持され、患者の組織中でほとんど全て吸収されるベータ線を主にあるいはそれだけを放出する。ベータ線は他の人々や環境に対してほとんどリスクを与えない。この種の放射性核種には、例えばストロンチウム 89, リン 32, レニウム 186, イットリウム 90, サマリウム 153 及び金 198 がある。最大で 200 MBq までのベータ線放出核種（リン 32, ストロンチウム 89 及びイットリウム 90）で治療された患者は、他の人々への被ばくに関して特別な注意を守る必要は全くない。例外は、骨転移による疼痛の治療に対してリン 32, ストロンチウム 89 又はサマリウム 153 *lexidronam* を投与された患者である。これらの化合物の約 60–70% は骨に局在するが、いくらかは投与後に尿中に排泄（最初の 6 時間で全排泄量の約 35%, 48 時間で 80–90%）されるため、尿からの汚染を回避するには慎重な衛生面での配慮が必要である（British Institute of Radiology, 1999, Silberstein と Taylor, 1996）。

(25) いくつかの放射性核種は、崩壊する前に体外に排泄される複数の経路があり、またベータ線の他にガンマ線も放出する。注意しないと、この種の放射性医薬品は他の人々と環境を不必要な放射線と汚染にさらす可能性がある。この種の核種で最も一般的なものはヨウ素 131 である。

(26) 非密封放射性核種によるさまざまな種類の核医学治療の頻度を表 3.1 に示す。甲状腺疾患の治療がそのような手法の 90% 以上を占めており、またそれらの全てはヨウ素 131 を使用して行われる。このように、実際上は、非密封放射性核種を治療目的で投与された患者からの公衆と近親者の放射線防護に関する問題の大部分は、ヨウ素 131 に集中する。

(27) 甲状腺機能亢進症の治療を受けた患者に投与されるヨウ素 131 の放射能は、約 100 から 1000 MBq である。甲状腺がんの治療のために投与される放射能は、約 4000 から 8000 MBq である。ヨウ素 131 の投与による公衆構成員と下水処理作業者に対する主要な放射線源は外部被ばくであろう。医療関係者、近親者及び介護者に対する主な放射線源もまた外部被ば

くであるが、患者の汚染によって彼らが被ばくする可能性もある。勧告又は要件を成文化する際には、両方の被ばく経路を考慮すべきである。

5. 線量限度と線量拘束値に関する現在の国際勧告

- 従来の ICRP 勧告によると、線量限度は患者からの公衆と医療従事者の被ばくに適用される。数 mSv/エピソードの線量拘束値（線量限度ではない）は、近親者、訪問者及び家庭における介護者に適用される。線量拘束値は線源関連の個人被ばく管理システムを代表し、それ以下で最適化が実施される。
- 線量限度と線量拘束値に関する ICRP 勧告は、国によって様々に解釈されてきた。ある国は、線量拘束値を厳格な年線量限度と解釈した。ICRP 勧告は、核医学治療の後に患者は入院すべきであると明確に述べてはいない。
- この文書では、患者の介護や慰安に直接携わらない訪問者に加えて、若年の小児や乳幼児も公衆の構成員として扱うべきである（すなわち、公衆の線量限度に従うべきである）と勧告する。

(28) ICRP は 1991 年に、線量限度と線量拘束値に関する勧告を出した。線量限度は表 5.1 にまとめられている。

(29) ICRP 1990 年勧告は次のように述べている (*183 項)：『職業被ばく又は公衆被ばくに適用される線量限度への適合性をみるときは、診断又は治療の過程で患者が受ける線量を含めるのは適切でない。』また次のようにも述べている (*139 項)：『医療被ばくは、その人自身の診断又は治療の一部として受ける被ばくと、診断又は治療中の患者の付添と介護をする個人が、承知の上で自発的に受ける被ばく（職業的被ばく以外の）に限られる』（ICRP, 1991）。

(30) *Publication 73* (ICRP, 1996) は、医療における自発的な被ばくの問題を次のよう

表 5.1. ICRP によって勧告された線量限度^a

適用	職業被ばく	公衆被ばく
実効線量	20 mSv/5 年間の平均 ^b	1 mSv/年 ^c
年等価線量		
水晶体	150 mSv	15 mSv
皮膚 ^d	500 mSv	50 mSv
手足	500 mSv	

出典：International Commission on Radiological Protection, (1991)。

^a 線量限度は特定された期間の外部線量及び同一期間の摂取量からの 50 年間（小児は 70 歳まで）の預託線量の合計に適用される。

^b 実効線量は、いかなる 1 年間においても 50 mSv を超えるべきでないという規定がある。妊婦の職業被ばくには追加の制限を適用する。

^c 特別な状況においては、5 年間の平均が 1 mSv/年を超えないという条件で、1 年間にもっと高い実効線量が許されることがありうる。

^d 実効線量の限度は皮膚の確率的影響に対して十分な防護を提供する。確定的影響を防止するためには、局所被ばくに対して追加の限度が必要である。

に述べている (*95 項)：『患者の介護と慰安を助ける友人や親族も志願者であるが、患者とそれを看護する人々の両方に直接の便益がある。このような人々の被ばくは医療被ばくと定義されているが、患者の訪問者と、核医学患者が退院したときの自宅における家族との両方に対して防護の方針を決める際用いるために、線量拘束値を設定すべきである。こうしたグループには子供が含まれることがある。委員会はこのような拘束値を勧告しなかったが、1 エピソードにつき数 mSv 程度の値が合理的と思われる。この拘束値は厳密に使用すべきものではない。たとえば、重症の子供の両親にとっては、もっと高い線量でもおそらく適切であろう。』

(31) 線量拘束値に関する従来勧告は、患者と同居する乳幼児と若年の小児を含んでいる。乳幼児と若年の小児はインフォームドコンセントを与えることができず、通常は患者の介護や慰安に従事することはなく、また放射線誘発性の甲状腺がん(特に経口摂取を通して。6.3 節を参照)に感受性が高いので、患者の介護や慰安に必須でない訪問者に準じて、彼らは公衆の構成員として扱うべきであると、現在では考えられている。換言すれば、これらのグループは 1 mSv/年の公衆の線量限度に従うべきである。

(32) 線量拘束値は線源関連の個人被ばく管理体系を代表するもので、それ以下で最適化が行われることを強調すべきである。最適化は線量拘束値を遵守した後に実施される。公式の費用便益分析が使われるときには、最適化は基本的に、線量の大きさ、被ばくする人の数及び異常な条件の下で被ばくする可能性を含む判断の手法である。核医学治療を受けた患者の解放に関しては、最適化と必要な行動制限に対する効果は、個人の間で異なることがある。

(33) 国際原子力機関 (IAEA, 2002 a) は基本安全基準 (Basic Safety Standards, BSS) で、患者の慰安者と訪問者に対する線量拘束値と線量限度として実際の値を勧告し (*IAEA, 1996, 付則 II-9)、次のように指摘している：『ここで設定された線量限度は、患者の慰安者、すなわち診断又は治療を受けている患者の介護、支援及び慰安を (雇用又は職業の一環としてでなく) 自発的に援助する間に、承知の上で被ばくする個人又はそのような患者の訪問者に対して適用してはならない。しかし、どのような慰安者又は訪問者の線量も、患者の診断検査又は治療の期間中 5 mSv を超えそうもないように、拘束されなければならない。放射性物質を経口摂取した患者を訪問する子供の線量は、同様に、1mSv未滿に拘束すべきである。』

(34) IAEA の要件は経口摂取された放射性物質について触れているが、類推によって、それは放射性物質の静脈内投与を受けた患者にも同様にあてはまるはずである。このように、この要件は基本的に ICRP の勧告と一致しているが、複数の放射線治療患者の慰安や介護を非職業的に行う個人への過大線量の回避については明確に扱っていない。

6. ヨウ素 131 による被ばくの決定経路

6.1. 総 論

- 放射性ヨウ素治療を受けた患者からの他の人々の被ばくは、重要性の減少する順に、外部被ばく、汚染の結果としての内部被ばく、そして一般の環境経路である。
- 放射性ヨウ素治療を受けた最初の数日間に、患者の唾液による乳幼児と若年小児の汚染は、子供の甲状腺に有意な線量を与え、将来放射線誘発甲状腺がんのリスクを増大する可能性がある。
- 通常用いられる他の治療用非密封放射性核種からの線量は、考慮された放射性核種や環境経路に関係なく、公衆の線量限度及び介護者の線量拘束値より十分低い。

(35) 近親者、介護者及び公衆の被ばくは、いくつかの方法で起こりうる：

- (i) 患者に近接した人々の外部被ばく；
- (ii) 排泄又は呼気中に吐き出された放射性ヨウ素による、患者に近接した人々の内部被ばく；そして、
- (iii) 下水、水域への放出、焼却汚泥、及び死体火葬を含む、環境経路を通しての被ばく。

(36) ヨウ素 131 は例外として、他の一般的に用いられる非密封治療用放射性核種による公衆と介護者の線量は、考慮した放射性核種や環境経路に関係なく、勧告された線量限度と線量拘束値を十分に下回る。そのためこの報告書は放射性ヨウ素に焦点を合わせる。

(37) ヨウ化ナトリウム (I-131) は、吸入、経皮膚的吸収又は経口摂取により体内に入る可能性がある。それは通常、甲状腺機能亢進症又は甲状腺がんの治療のために、液体又はカプセルの形で経口投与される。ヨウ化ナトリウムは胃腸管から急速に吸収されて血流中に入り、甲状腺の機能性組織にトラップされ有機化される。放射性ヨウ素で標識された甲状腺ホルモンは、血漿蛋白に結合して循環し、肝臓と筋肉で代謝される。若干の放射性ヨウ素は肝臓で抱合され、胆汁として腸管内に排出される。

(38) 唾液腺、胃及び授乳中の乳腺は、血漿中のレベルの約 1520 倍の無機ヨウ化物の濃度勾配を維持できる上皮を含む。

(39) 放射性ヨウ素は主に尿中に排泄され、少量は唾液、汗及び糞便中に排出される。

(40) 患者に保持される放射能の量は、放射性医薬品、甲状腺の有無、水分補給、腎機能その他、多数の因子の関数である。甲状腺がんと甲状腺機能亢進症の患者に対するヨウ化ナトリウム (I-131) 治療の典型的な残留曲線を図 6.1 に示す。

(41) 下水道に放出される様々な放射性核種の放射能の比率を表 6.1 に示す。Driver と Packer (2001) は、甲状腺がんに対して放射性ヨウ素治療を行った 174 人の患者から排泄された放射能の測定結果について報告した。彼らは投与された放射能の約 55% が治療後の最初

の24時間で排泄され、次の24時間で22%、3番目の24時間で6%が排泄されることを見出した。最初の5日で合計85%が下水道に放出される。これまでは、また規制目的のために、投与された放射能の100%が放出されると仮定されていた。そのような値を使用することはいくらか保守的であり、潜在的な環境影響を約15%過大評価するかもしれない。

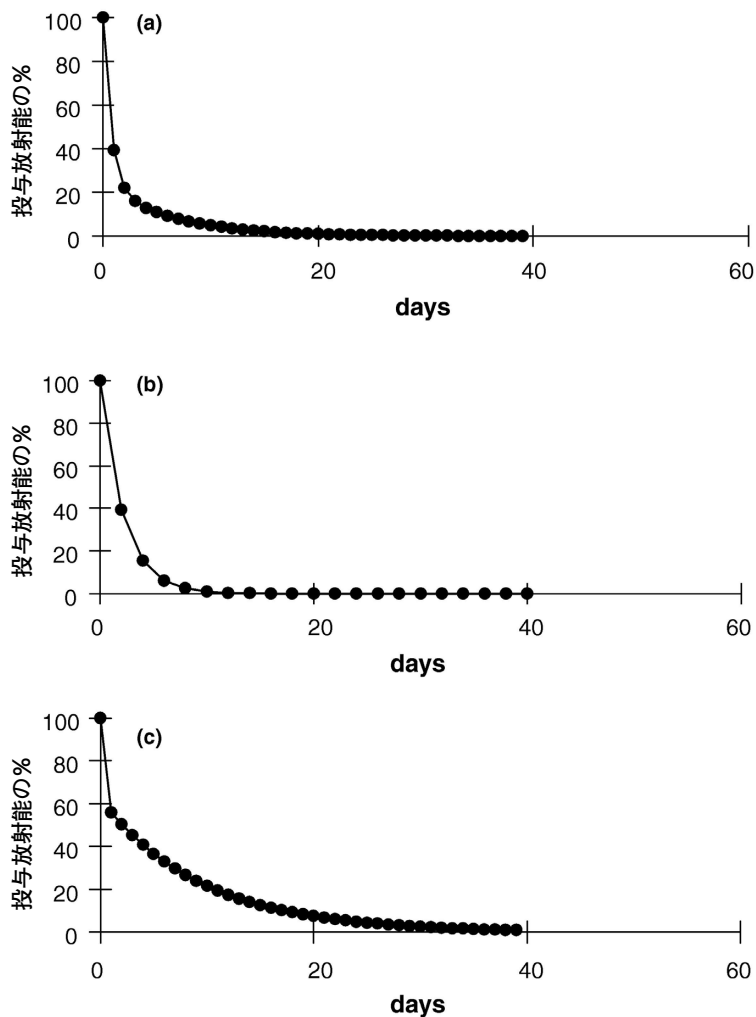


図6.1. いろいろなタイプの患者における、ヨウ素 131 に対する典型的な実効滞留曲線と投与放射能。
 (a) がん治療, (b) がんの経過観察, 及び (c) 甲状腺中毒症
 出典: Barrington ら, (1996 a) 及び Hilditch ら, (1991)。

表 6.1. 投与された放射能のうち排水中に放出される割合（完全に崩壊するまで）

核種と物理・化学形	治療目的	下水道への放出 (%)
¹⁹⁸ Au コロイド	悪性疾患	0
¹³¹ I ヨウ素	甲状腺機能亢進症	54
¹³¹ I ヨウ素	甲状腺がん	84-90
¹³¹ I MIBG	褐色細胞腫	89
³² P リン酸塩	真性多血症, 他	42
⁸⁹ Sr 塩化物	骨転移	92
⁹⁰ Y コロイド	関節炎	0
⁹⁰ Y 抗体	悪性疾患	12
¹⁶⁹ Er コロイド	関節炎	0

出典：Thompson ら, (1994)。

6.2. 患者からの外部線量率

- 放射性ヨウ素治療を受けた患者から他の人々への線量は、主として外部被ばくによる。

(42) 放射能を有する患者から他の人々への吸収線量の多くの計算では、放射能の分布は減弱のない点線源と仮定されている。近くの人々に対する外部線量の推定は通常、逆2乗則を用いて行われている。これは、甲状腺機能亢進症やヨウ素が集積する局在性の転移巣を有する甲状腺がん患者の場合には基本的に正しい。

(43) しかし、放射能が患者の中に広く分布している場合には、減弱のない点線源モデルは近傍の人々への線量を過大評価する。線状線源の減弱補正モデルはもっと正確であり、日常的に使用することができる。このモデルは、骨転移の緩和治療や放射免疫療法を受けた患者により良く適合する (Lubin, 2002; Siegel ら, 2002 a)。

(44) ヨウ素 131 の一定量の放射能を投与された患者からの累積外部被ばくは、患者が正常の甲状腺機能であるか、甲状腺中毒性であるか、甲状腺がんの治療を受けているかどうかによって、2-3 倍異なる。その結果、多数の著者は、異なるタイプの患者からの線量率をいろいろな時間に測定している。Culver と Dworkin (1991) は、甲状腺機能亢進症 (表 6.2) の治療に対するヨウ化ナトリウム (I-131) の投与後 11 日目まで、さまざまな距離で照射線量率を測定した。

(45) O'Doherty ら, (1993) は、甲状腺機能亢進症に対して放射性ヨウ素を投与された患者で線量率の研究を行った。結果は表 6.3 に示すように概して類似している。

(46) Barrington ら, (1996 a) は、甲状腺がんに対する機能的甲状腺除去又は追加治療としてヨウ素 131 治療を受けた患者からの外部線量率を実測した。結果は、表 6.4 と 6.5 に示されている。

(47) 表 6.4 と 6.5 は、投与された放射能の単位当たりの外部線量率が甲状腺がん患者の場合にはずっと速く減少することを示している。甲状腺がんの患者においては、甲状腺は摘

出されているため、放射性ヨウ素を保持しない。その結果、投与された放射性ヨウ素の大部分は、治療後の最初の2日以内に尿中に除去される。一部の著者は、幾何学的な効果を最小化するためには患者から2-3m離れて外部線量を測定すべきであると提案している。相当の量の放射性医薬品(*ヨウ素 131)を集積する腫瘍の残存病巣が認められる患者の場合には、状況は異なる。

表 6.2. 甲状腺機能亢進症の治療を受けた患者からの、投与後のいろいろな時間と距離における線量率の実測値 ($\mu\text{Sv/h}/\text{MBq}$ 投与量)

距離 (m)	1 日	24 日	57 日	811 日
0.6		0.059	0.034	0.024
1.0	0.046	0.022	0.014	—

出典：National Council on Radiation Protection and Measurements, (1995)。

表 6.3. 甲状腺機能亢進症の治療を受けた患者からの、投与後のいろいろな時間と距離における平均線量率 ($\mu\text{Sv/h}/\text{MBq}$ 投与量)

距離 (m)	0 日	1 日	3 日	6 日	8 日	10 日
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

出典：O'Doherty ら, (1993)。

表 6.4. 甲状腺がんの治療で機能的除去を受けた患者からの、投与後のいろいろな時間と距離における平均線量率 ($\mu\text{Sv/h}/\text{MBq}$ 投与量)

距離 (m)	0 日	1 日	2 日	3 日	4 日	7 日
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

出典：Barrington ら, (1996 a)。

表 6.5. 甲状腺がんで治療を受けて経過観察中の患者からの、投与後のいろいろな時間と距離における平均線量率 ($\mu\text{Sv/h}/\text{MBq}$ 投与量)

距離 (m)	0 日	1 日	2 日	3 日	4 日	7 日
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	0.0003
1.0	0.046	0.019	0.007	0.003	0.002	0.004

出典：Barrington ら, (1996 a)。

6.3. 他の人々の汚染

- 成人の汚染は、外部被ばくの管理ほど重要ではない。しかしながら、胎児と子供の甲状腺は甲状腺がん誘発に対する感受性が高いため、子供と妊婦の汚染を回避することは非常に重要である。放射性ヨウ素治療後の母親は授乳をすぐにやめなければならない。

(48) 一般の経験則は、放射性物質を仕事で使用する個人には、扱われている放射能の100万分の1以下が摂取されるにすぎないと仮定する。この経験則は、仕事場での通常作業の間における作業員の摂取、偶発的な被ばく、あるいは施設から大気中に偶然放出された放射能の公衆による摂取に対して策定された。患者にさらされた個人の摂取については、少なくとも2つの研究により、同じ程度の大きさが適用できることを示している (Buchan と Brindle, 1970) ; Jacobson ら, 1978)。ある国ではもっとずっと保守的な数値が使われている。例えば、オランダでは、扱われている量の100分の1が体内に摂取されると仮定している。患者の尿と接触した場合を除いては、放射性ヨウ素による汚染のリスクは通常、低いが無視できるほどではないことを多数の調査は示している。成人の近親者では、汚染による内部線量は通常、外部線量の10%未満である。患者から吐き出された蒸気、唾液、汗、尿、又は母乳として排泄される放射性ヨウ素は、近親者と介護者を潜在的に被ばくさせる。皮膚と甲状腺の線量を測定した研究では、外部被ばくは内部甲状腺等価線量の100倍以上であった (Jacobson ら, 1978)。

(49) 様々な年齢の人々によるヨウ素131の経口摂取と吸入からの線量換算係数は、表6.6に示されている。これらは潜在的な被ばく線量をあらかじめ算出するのに役立つ。しかしながら、体液及び患者以外の人々の放射能の測定のほうがもっと有用である。

(50) 200及び600 MBqのヨウ化ナトリウム (I-131) で治療された甲状腺機能亢進症の患者において、いろいろな体液中の放射能が測定された (O'Doherty ら, 1993)。治療後、最初の24時間に採取された唾液の平均的な放射能は、投与量1 MBq 当たり 86.7 Bq/g (範囲 0.6–208 Bq/g/MBq 投与量) であった。治療後3日までに、これは約 27 Bq/g/MBq (投与量) に減少した。唾液の最大の放射能は、治療後約 24 時間に見られる。ある著者は、治療後最初の48時間は患者とそれらの近親者とは口移しの接触をしないよう勧告している。

表 6.6. 放射性ヨウ素の吸入と経口摂取に対する線量係数 (Sv/Bq)

年齢グループ (年)	吸入	経口摂取
<1	7.2 E-8	1.8 E-7
1-2	7.2 E-8	1.8 E-7
2-7	3.7 E-8	1.0 E-7
7-12	1.9 E-8	5.2 E-8
12-17	1.1 E-8	3.4 E-8
成人	7.4 E-9	2.2 E-8

出典：International Commission on Radiological Protection, (1996)。

(51) 治療後最初の24時間の間に分泌された手掌の汗の放射能は 170 Bq/cm^2 (範囲 $13-1,027 \text{ Bq/cm}^2$)であった。また、手掌の分泌の平均値は24時間で 45 kBq であった。投与された放射能又は身体の大きさとの相関はあまりなかった。このように、汗のヨウ素131汚染のリスクは小さい。

(52) Nishizawaら,(1980)は多数の甲状腺機能亢進症患者からのヨウ素の排泄をモニターし、若干の興味深い所見を得た。 25 mCi を投与された患者において、 1 ml 当たりの放射能は、投与後最初の数時間の例外を除いて、唾液(約 $10 \mu\text{Ci/ml}$)が最高であった。血中ではその20分の1(約 $0.5 \mu\text{Ci/ml}$)であり、汗では1000分の1(約 $0.01 \mu\text{Ci/ml}$)低い値であった。さらに、これらの患者の唾液の放射能は非常に急速に減少し、治療3日後では当初の最大値の約1%であった。

(53) Lassmannら,(1998)は、放射性ヨウ素治療の場合、最大で投与量の0.1%のヨウ素131が治療室の空气中に放出されることを証明した。放射性ヨウ素治療後2日間入院した患者の近親者の3分の2は、甲状腺用プローブで検出可能な放射能が甲状腺に認められた。この放射能が呼気中に吐き出された放射性ヨウ素からなのか、あるいはその他の汚染からなのかは不明である。放射能は全身で最高 4 kBq 、甲状腺で 0.2 kBq と測定された。これは 2 mSv の甲状腺線量となるであろう。平均甲状腺線量は 0.2 mGy であった。最大に被ばくした近親者の体内汚染からの実効線量は、公衆の年線量限度である 1 mSv 以下であった。

(54) Hanscheidら,(2003)は、核医学治療病室で働く職員の甲状腺のヨウ素131モニタリングを毎日実施した。甲状腺線量が測定され、平均 0.35 mGy/月 となり、部屋の換気が十分であるならば、体内に取り込まれるリスクは低いことが示された。

(55) Schomaeckerら,(2000)は甲状腺機能亢進症と甲状腺がんの治療を受けた患者を調べた。彼らはLassmannら,(1998)の報告より低い値を示し、呼気中に吐き出された放射性ヨウ素の量は投与量の0.008%から0.03%であることを見出した。吐き出された放射性ヨウ素の百分率は、甲状腺がんの患者より甲状腺機能亢進症の患者で大きかった。大部分の吐き出された放射能は、有機結合型で存在していた。

(56) Wellnerら,(1998)は、甲状腺機能亢進症の患者による放射性ヨウ素の呼気中への吐き出しと、その結果としての近親者への取り込みを研究した。患者が3日間入院する場合、彼らの近親者の誰も 0.1 mSv を上回る実効線量を受けなかったと結論した。彼らの仮定とモデルに基づくと、もし患者が外来ベースで治療される場合、予測される近親者に対する実効線量は 6.5 mSv にもなり、公衆の線量限度 1 mSv/年 を上回るであろう。

(57) 甲状腺がんの患者からの汚染は、放射性ヨウ素投与後約24時間が最大で、甲状腺機能亢進症の患者からの場合より高い。Ibisら,(1992)は、これらの患者からの汚染パターンを研究した。投与後4、24及び48時間に皮膚からの除去可能な放射能が測定された。放射能は10から 250 Bq/cm^2 以上まで広がっていた。除去可能な放射能と投与された放射能の間には相関があった。頻繁に手を洗った患者では、除去可能な汚染はかなり少なかった。患者が触れた表面の除去可能な汚染は非常に変動が大きく、 1 mSv 未満から 190 Bq/cm^2 であった。治療後

最初の48時間の便器の縁の除去可能な放射能は、女性(約20 Bq/cm²)より男性(約1500 Bq/cm²)のほうがずっと大きかった。唾液の放射能は投与された放射能と比例し、治療後24時間で最高であった。放射能11 GBqを投与された患者の場合、24時間の唾液の放射能は約4 MBq/mlであった。

(58) 治療後最初の2日間に呼気中に吐き出されたヨウ素131の放射能と空気中の平均濃度も測定された。吐き出された呼気中の放射能は20から190 Bq/lであった。治療後1日の間に呼気により吐き出された毎時平均の放射能は、投与された放射能1 Bqあたり 1.5×10^{-6} Bq/hであった。4人の甲状腺がん患者から空気中に吐き出された放射能は合計2.2-4.9 MBqであった。室内空気中の平均濃度は0.08-0.44 Bq/lであった。測定が行われた部屋の空気は、1日190回交換されていた。米国では、制限区域内の最大許容濃度は0.33 Bq/lである。

7. 近親者、介護者及び公衆に対するヨウ素 131 被ばくからの リスクの大きさと性状

- 放射性ヨウ素で治療された患者からの成人の典型的な線量が、がんを誘発するリスクは非常に低い。成人が甲状腺機能低下症となるほど多量の放射性ヨウ素で汚染されることは、非常にまれである。
- 20 歳未満の人々にとって、汚染（特に唾液による）の結果としての甲状腺がんのリスクは、かなり大きいかもしれない。
- 乳幼児と若年の小児の場合には、汚染によって甲状腺の吸収線量が高い値となる可能性があり（以前勧告された線量拘束値の範囲内ではあるが）、また子供の甲状腺は発がんに関して非常に放射線感受性が高いため、ICRP はいま、この集団は公衆の線量限度である 1 mSv/年に制限すべきであると勧告する。

(59) 線量限度と線量拘束値は、リスクをベースにしている。従ってこれらの値と関連しているリスクの種類と大きさを明らかにすることは有用である。前述したように、治療量の非密封放射性核種を投与された患者の他の人々に対するリスクは、主に外部被ばくであり、体内汚染に由来するものは少ない。

(60) ヨウ素 131 は 364 keV のガンマ線光子を放出する。患者からの放射の大部分は、主として全身に均一なかたちで近くの人々を被ばくさせる。線量率は比較的低いため、リスクはがん誘発に関連するものである。一般集団の致死がんのリスク（*放射線によるがん死亡の生涯リスク）は、ほぼ 5%/Sv (ICRP, 1991) である。

(61) ICRP の公衆に対する線量限度は 1 mSv/年であり、線量拘束値は数 mSv/エピソードで、状況によってはそれ以上である。直線しきい値なしのアプローチを用いると、1 mSv での全ての致死がんのリスクは、一般集団に対して約 0.005% である。これらは潜在的リスクであり、がんの増加は、もしあったとしてもこの線量レベルでは非常に小さくて、現在までのところ検出されなかったことは明らかである。この潜在的リスクは、致死がんの生涯の自然発生リスクである 20–30% と比較できる。子供は成人よりも、がんの誘発に対する感受性が(2–3 倍) 高いため、子供の場合には実効線量 1 mSv のリスクは 0.01–0.02% である。

(62) 放射性ヨウ素を診断目的に投与された 36,000 人を対象としたスウェーデンの研究は、以前に頸部の外部照射治療を受けた患者だけの間で、甲状腺がんが増加することを明らかにした。他の患者における放射性ヨウ素からの甲状腺線量は 0.94 Gy であった。しかしながら大部分の患者は、被ばくした時点で 20 歳以上であった (Dickman ら, 2003)。

(63) 体内汚染による障害は、成人と小児で非常に異なる。

(64) 成人は、外部放射線又は放射性ヨウ素による甲状腺がんの誘発にかなり抵抗性である (Ron ら, 1995)。現在までのところ、チェルノブイリ事故処理作業員の中に、線量に関連した甲状腺がんの増加は発見されていない (UNSCEAR, 2000)。他の研究によると、成人に

対する唯一の測定可能な障害は、甲状腺が大線量（3 Gy 程度）を受けた後に起こり、無症状の甲状腺機能低下症が発症している（Larsen と Conard, 1978）。これらの変化は、放射性ヨウ素治療患者の近親者から汚染の実測で見つかるより何桁も大きな放射能を取り込んだ後にしか起こっていない。

(65) 小児の放射性ヨウ素汚染は、チェルノブイリ事故の後で見られた甲状腺がんの増加に照らすと、懸念すべきことである。放射性ヨウ素の経口摂取及びチェルノブイリ事故を経験した子供におけるリスク推定値は、 10^4 人年グレイ（PYGy）につき過剰絶対リスク（EAR）が1.6–2.3、過剰相対リスク（ERR）が23–38/Gyであった（UNSCEAR, 2000）。米国西部で核兵器実験の降下物にさらされ、甲状腺に推定0.46 Gyを被ばくした小児の大規模な調査において、甲状腺がんの有意な増加は見られなかった（Rallison ら, 1974）。しかし、その後の調査では、甲状腺新生物に対するERRは全体として0.7%/mGyであったが、甲状腺がんと結節の両方に関する線量反応勾配は有意ではなかった（Kerber ら, 1993）。

(66) 公衆に対するICRP勧告は実効線量だけに関係している。子供は、特別な状況以外では、実効線量限度1 mSv/年の公衆構成員として扱われる。これらは一般的な勧告であって、特に放射性ヨウ素と子供の感受性の問題を扱っているのではない。もし彼らがインフォームドコンセントができるならば、年かさの子供が家庭で患者の介護や慰安の手助けをするかもしれないと考えられる。この報告書で述べられる状況における被ばくが主として放射性ヨウ素に関するものであり、子供の甲状腺ががんの誘発に感受性が高いと思われるならば、この問題は更に検討する必要があるかもしれない。甲状腺の組織荷重係数は0.05であるため、子供の甲状腺が放射性ヨウ素から20 mSvを受けたとしても、それでもなおICRP勧告に従っている、ということは理論的には可能である。この線量で子供の甲状腺がん誘発が示されたことはない。年かさの子供がこれほど大量に汚染しながら、外部被ばくを受けていないことも、ありそうにない。その結果、子供に対する実効線量が1 mSv/年以下に保たれるならば、甲状腺の線量は20 mGyより十分小さいはずである。近親者で行われた甲状腺の実測によってもこれは支持されている。

(67) 授乳中の母親が放射性ヨウ素治療の後も授乳を続け、かつ子供の甲状腺が除去されていないならば、甲状腺がんのリスクは非常に高くなりうる。

(68) 親が放射線防護の指示に従わなかったある特定の汚染シナリオの結果として、小児甲状腺線量を推定することができる。例えば、甲状腺機能亢進症の患者について、治療後1日目の唾液の放射能は、投与放射能1 MBq 当たり唾液1 g 当たり平均約100 Bqである。親が555 MBqを投与された場合、放射能は唾液1 gあるいは1 ml 当たり約55,500 Bqである。

(69) ヨウ素131を経口摂取した乳幼児あるいは若年の小児の甲状腺線量は、約 4.3×10^{-7} Gy/Bqである。例えば親が注意を守らず、乳幼児がそのような親からキスされることによって1 mlの唾液を受けると、推定される甲状腺線量は約 2.4×10^{-2} Gy すなわち24 mGyである（ICRP, 1999）。放射性ヨウ素からのERR/Gyが20–30の間にあるチェルノブイリの子供の予備データを用いると、甲状腺がん誘発のERRは約1.0（すなわち、自然のリスクの2

倍)であろう。適切な注意が守られた場合、子供の甲状腺線量の実測値は、この例で示された値より低い(したがって、がんのリスクも低い)。ある研究では、89人の子供のうち25人からヨウ素の放射能が検出された。放射能が検出可能な子供において、甲状腺線量は0.4から29.1 mGyの範囲であった(Barringtonら、2003)。この研究で、一部の両親は、注意事項を受け取らなかったか、理解しなかったか、あるいは守らなかったことが明らかになった。

(70) 体内汚染からの子供の線量は、外部被ばくによる子供の潜在的線量と比較することができる。放射性ヨウ素の放射能555 MBqを有する親が、放射性ヨウ素投与の1日後に1時間の間、0.1 mの距離で子供を抱く場合、外部線量率はもっと少ないであろう(投与量1 MBq当たり約0.4 μ Sv/h、すなわち親が555 MBqの放射能を保持している場合、子供に対する外部線量は0.2 mSv)。これらの計算値は、小児と乳児の体内汚染を減らし、あるいは予防するための注意が重要であることを示している。

(71) 従来勧告された線量拘束値である数 mSv/エピソードの範囲内ではあっても、汚染によって甲状腺の高い吸収線量が乳幼児と若年の小児に起こる可能性があり、かつ小児の甲状腺は発がんに関して非常に放射線感受性が高いため、今回ICRPはこの集団に対して、公衆の線量限度である1 mSv/年に制限すべきであると勧告する。

8. 放射性ヨウ素の環境中での経路

- 核医学患者の排泄物から環境に放出される放射能の大部分は、テクネチウム 99 m の放射性医薬品であり、次がヨウ素 131 である。テクネチウム 99 m の半減期は 6 時間と短いため、環境被ばく源としての重要性は限定される。ヨウ素 131 は半減期が 8 日であるため、医療に用いた後、一般環境中で検出される。これらの行為による環境へのインパクトは観察されていない。

(72) 最近の多数の刊行物は、環境への潜在的なインパクトの詳細を含む放射線防護体系の必要性を強調している (Copplestone ら, 2000 ; ICRP, 2003 ; Nuclear Energy Agency, 1995 ; Pentreath, 2002)。そのほかに、現在 ICRP はこの領域における方針を策定する課題グループを持っている。この報告書の目的のためには、放出されたヨウ素 131 の環境へのインパクトが最小限であるべきである。それにはいくつかの理由がある。ヨウ素 131 の物理的半減期は比較的短く (8 日)、患者の排泄物が処理され生態系に戻されるまでの時間は比較的長い。

(73) 環境中での放射性ヨウ素の移動は、何十年も研究されている (Eisenbud, 1973 ; Ilyin ら, 1972)。事故、核兵器実験及び意図的な放出による放射性ヨウ素の放出の結果としての膨大な情報が利用できる。これらの状況下では、大量の放射性ヨウ素が環境と食物連鎖の中に放出された。環境への導入は通常空気中への直接放出によるものであるが、灌漑のために使われる川と水路への下水の放出など、他の経路も含まれる。

(74) ヨウ素 131 は半減期が比較的短いため、土壌への取り込みに関する重要な汚染物ではない。崩壊速度は、農作物の生育する時間と比較して速い。葉に沈着する放射性ヨウ素は、空気から植物へ移行する沈着速度の関数である。放射性ヨウ素は風化と他の機構で葉から除去され、除去の実効半減期は約 3.5 日である。植物の表面に沈着した放射性ヨウ素は牛によって摂取されることがあり、摂取された放射性ヨウ素の約 5% が牛乳中に出てくる。

(75) 核医学患者の病院からの解放に関連して、放射性ヨウ素は体内にあってそこで崩壊するか又は主として尿中に排泄されて環境中に出て行くかで、その状況は非常に異なる。下水管理プロセスでは、水路に放出される廃水と汚泥からの下水道保守作業者と廃水処理作業者の被ばくが起こりうる。一般に放射能は非常に低く、希釈と分散、そして食物連鎖に戻るまでに要する時間の長さを考慮すると、この経路はあまり重要ではない。

(76) 放射性ヨウ素は、下水汚泥の形で土壌に沈着する可能性がある。汚泥は無処理、処理済み、又は高度な処理済みとして特徴づけられることがある。これらの用語は主に細菌や他の病原体を減らす処理に関係したものである。そして、より多くの処理が含まれて長い時間がかかるほど放出される放射能が少ないであろうという事実を除いて、放射能の除去とはほとんど無関係である。

(77) 無処理の汚泥は、細菌に関連した保健上の理由のために通常は農地に堆積することはない。処理済み汚泥は、牛の飼料として用いられる農作物の上に直接堆積されることがある。しかし、下水を使用前に6箇月間も保管しない限り、これは一般的でない。ある国々では、全ての農地で無処理の下水汚泥の使用を禁止する制約がある。そして、土中に深く注入する場合にのみ、処理した汚泥を牧場として使用している草原に使用できる。さらに、使用から収穫までの期間は、作物にもよるが、農作物の一部が生で食される場合には12-30箇月でなければならない。

(78) 放射性ヨウ素が水域に放出されると、それは多数の海洋生物に濃縮される。濃縮係数は、海藻の場合200-500、軟体動物と甲殻類の場合10-70、そして魚の筋肉の場合10-15である。いくつかの東欧諸国では、下水が淡水養魚場の隣に保管され、魚肉生産を増加させるために水中に投入されることがある。下水処理から魚の餌となるまでの時間はモニタされていない。

(79) 金魚の甲状腺機能に対する放射性ヨウ素の影響に関しては、少なくとも1つの発表がある(ChavinとCukrowski, 1968)。放射能0.37 kBq以上の放射性ヨウ素を腹腔内へ直接注入すると脳下垂体細胞の細胞学的形態に影響を及ぼすこと、0.37 MBq (2.2 MBq/kg)の腹腔内注入は部分的な(機能的)甲状腺除去を達成すること、及び3.7 MBq (22 MBq/kg)は甲状腺全摘出と同等であることが見出された。大西洋のサケ(LaRocheとLeBlond, 1954)及びマス(LaRocheら, 1965; NorrisとGorbman, 1965)も調べられた。放射線による(機能的)甲状腺除去を引き起こす放射能は37-185 MBq/kgであった。2-3箇月のあいだ約1 MBq/mlの放射能濃度の水中に放たれた幼いニジマスに(機能的)甲状腺除去が起こることも見られた。同様の調査と結果は、Chinookサケ、メダカ及びウナギでも報告されている(Harris, 1959; Olivereau, 1957; OlivereauとLaRoche, 1965)。報告された全ての影響は、医療で使用される非密封放射性核種や下水道に排出される患者の尿とその排水より何桁も大きな放射能で起こっている。しかし、淡水養魚場で下水を用いた場合、放射性ヨウ素の半減期を8日とすると、魚の甲状腺には影響を及ぼすかもしれないが、公衆衛生上はほとんどインパクトはないと思われる。

(80) 潜在的な障害に関しては、放出地点での濃度、高い希釈係数、混合及び水-藻類-動物プランクトン-(人の)食用生物という食物連鎖に沿った、放射性ヨウ素の有意な物理的崩壊について考察しなければならない。ヨウ素131が水を介して人体に入るかもしれない経路は、土壌を介する経路よりも重要性はずっと少ない。

9. 非密封放射性核種を用いた治療からの放射性廃棄物の処分

- 適切な規制のもとでは、尿を保管しなくとも、非密封放射性核種による診断又は治療を受けた患者からの排泄物の下水道への処分は、職業被ばく及び公衆被ばくのどちらについても十分線量限度内であることが示されている。
- ICRP 勧告は、尿を保管することを要求しない。放射性ヨウ素治療後の患者の尿を保管することの利益は非常に少ない。
- 現代の下水道に放出された放射性核種による下水道作業員及び公衆に対する線量は、十分に公衆の線量限度以下となりそうである。
- 身元不明線源あるいは違法の放射線源を見つけるために埋立地で使用される放射線検出器は、放射性ヨウ素治療患者からの汚染や下水汚泥の汚染を検出することがある。

9.1. 総 論

(81) 放射性廃棄物の処分に関する公衆の意見は、多くの著者によって調べられてきた。しかし、最近の研究は、廃棄物の発生源に関する世論に対していくらかの洞察をしている(Kelly と Finch, 2002)。一般に、原子力産業や核燃料再処理からの放射性廃棄物は懐疑論に直面しているが、一方、医学利用によって作り出される放射性廃棄物は、利益がもたらされるという性質のために受け容れられている。

(82) 放射線防護と放射性廃棄物の処分に対する全体的な枠組みは、*Publication 77* (ICRP, 1997) に発表されている。戦略は2つのタイプ、すなわち：希釈と分散又は濃縮と保持、に分けることができる。廃棄物管理は、放出された放射性核種による公衆の被ばくを制限するための公衆衛生上の手段である。放射線防護の主要な目的は、放射線被ばくを引き起こす有益な行為を過度に制限することなく、人に対する防護の適切な基準を提供するものであることを記憶すべきである。ICRP の方針の基盤は、全ての合理的な手段によって確率的影響のリスクを制限することであって、リスクを完全に除去することではない。

(83) 放射性ヨウ素治療を受けた患者からの放射性的排泄物の大部分を管理するオプションは、上述の事柄と類似したいくつかのカテゴリーに分けることができる。第1に、それを集積し、保管して減衰を待ち、ついで将来のある時期に（通常は下水道に）放出することができる。ある国では患者が入院している際にこれが行われる。患者が解放された後に尿を保管することは、実用的な解決ではなかった。第2のオプションは、減衰なしに放射性的排泄物を直接下水道に処分することである。減衰を待つために尿を保管することなく、病院自身が放射性的排泄物を下水道に処分している国もある。最後に、排泄された放射能の少量が、下水道で処分できない物質の中や表面に付着しているであろう。これらの物質は、埋め立てられるか、

あるいは減衰待ち保管されることになる (Evdokimoff ら, 1994)。これらの方法のそれぞれについては、以下にもっと詳しく述べる。

(84) 放射性ヨウ素治療後の授乳中の母親からの汚染された母乳に関しては、直接下水道に処分するのがおそらく最も良い。

(85) 病院が水の効率的な使用に努力したときには、別の問題が生じる。これは、その施設が放射能を許容濃度まで希釈できないかもしれないことを指している。カナダでは、この濃度は年間平均で 200 Bq/l の範囲内にある。その結果、少なくとも 1 つの病院は複数の貯留槽を使用している (Leung と Nikolic, 1998)。貯留槽の形状にも依るが、単位放射能あたりの線量率は 0.5 から 4.0 $\mu\text{Sv/h/GBq}$ の範囲にある。これらの貯留槽は自動でないことが多く、適切な人員配置と保守が必要である。そのような改革は必ずしも必要でないかもしれず、環境経路に関して現実的な仮定を確実に行わなければならない。

9.2. 減衰待ち保管

(86) 放射能が減衰するまで尿を保持するかどうかは議論の分かれる問題である。それを実施している国とそうでない国とがある。結局、問題はこの行為の便益と費用がどうかということである。

(87) 患者を入院させる 1 つの理由は、尿を保管し、減衰させた後に下水道に放出することができるということである。多くの国では、患者は近親者や他の人々の外部被ばくを減らすために入院させられるが、多くの病院では患者の尿を保管しない。その代わりに、それらを認定限度以下に適切に希釈して、直接放出している。

(88) 減衰のために尿を保管することは、いくつかの問題を提起した。第一は、どの時点で減衰が十分かを決定することである (Meck, 1996)。『完全な』減衰を要求することは、放射能の性質を考えると不合理である。例えば、ヨウ素 131 を 10 半減期のあいだ減衰させたとしても、これは何箇月も尿を保管することを意味する。Erlandsson と Mattsson (1978) は、放射線治療患者からの全ての尿を保管せずに下水道へ直接処分することを推奨した。

(89) もう 1 つのポイントは、病院に複雑な配管系がない限り、公衆被ばくの潜在的な減少は、職業被ばくと出費の増加で相殺されるということである。最後に、たとえ治療後 1-2 日の間患者を入院させたとしても、かなりの放射能が患者に保持されており、その後数日にわたって排泄され、彼らの家から下水道へと放出されてゆく。

(90) 英国における数十年戦略 (UK Department of the Environment, 2002) によると、病院に貯留槽を備えて放出を減らすことは、費用や病院職員の被ばくの可能性、及び、患者の解放後にかなりの割合の放出が起こるため、大部分の病院において実用的でないことがわかった。

9.3. 下水，汚泥及び焼却

(91) 現在のところ，都市部においては，放射性ヨウ素治療患者からの排泄物処分の主な方法は，自治体の下水道とそれに付属する廃水処理プラントを経由して行われている。現代の下水処理施設には，通常一次処理と二次処理の過程がある。一次処理は砂と大きな浮遊固体を除き，それから沈殿を利用する。二次処理は，凝集沈殿又は酸化とそれに続く沈殿によって，沈降しない固体や溶解している有機物を除去する。ほとんどの場合，廃水はその後川又は沿岸水中に放出される。分離された固体は『汚泥』と称され，焼却，肥料として農地で利用，又は埋立てに使うことができる。

(92) 農村地帯では，排泄物はその場所の污水浄化システムか公衆便所に処分されることがある。この主題についてのデータはほとんどないが，水の浸透速度と放射性ヨウ素の8日の半減期のため，合理的に造られた便所か污水浄化システムでの処分は，公衆に測定しうるほどの被ばくを与えることはなさそうである。

(93) 患者の家庭から出る下水中への放射性ヨウ素の量は，患者の1日の尿中排泄と，その家の全ての使用から下水道に放出される水量から計算することができる。英国の一人暮らしの人の場合には，後者の値は約 $1\text{ m}^3/\text{週}$ ，4人家族では約 $3\text{ m}^3/\text{週}$ である。投与された放射能の約55%が処置後1日目に尿中に排泄され，2日目では17%，3日目と4日目では5%，5日目では2%が排泄される。同じ下水道を使用している他の家からかなりの量の希釈があるであろうから，これらの値だけを考慮すべきではない。

(94) 廃水プラントからの処理済み排水中の医療用放射性核種（特に放射性ヨウ素）の放射能は，数十年の間調べられてきた(Erlandsson と Mattsson, 1978 ; Prichard ら, 1981 ; Sodd ら, 1975)。廃水プラントから放出される放射能は，主として流入量，プラント設計ならびに最終処分方法に依存する。医療センターに近い廃水プラントから1日に放出される放射性ヨウ素は $150\text{--}370\text{ MBq}$ の範囲にあると推定された。多くの廃水処理プラントでは，排水は十分に希薄で，濃縮手段を講じなければヨウ素のガンマ線ピークは検出できない。

(95) いくつかの評価では，作業者は年間200時間下水道管内に居ると仮定しているが，現代の廃水処理作業においては，約2時間/年程度と考えたほうがよい。廃水処理施設の作業員に対して推定される職業線量は，エピソードごとにプラントに搬入される放射能だけでなく，実際の処理方法にも依存する。廃水処理プラントの作業員は，下水道保守作業員より高い線量を受ける。下水道作業員の職業線量の原因となる最も重要な放射性核種はテクネチウム 99 m であり，ヨウ素131は河川水の最大の汚染原物質である。

(96) 下水道への放出では大幅に希釈されるが，廃水処理プラントでの処理は容易に計測できる放射能を含む汚泥を生じうる。下水道管を通して最終的に汚泥となる放射性ヨウ素の通過の正確なタイミングは，システムの設計と建設によって全く異なりうるが，スウェーデンのある研究では，放射性ヨウ素放出の2-3週間後に汚泥中に最大の放射能が現れた(Erlandsson

と Mattsson, 1978)。

(97) 地方自治体の下水処理プラント中のヨウ化ナトリウム (I-131) とメタ (¹³¹I) ヨードベンジルグアニジン (MIBG) の挙動が明らかにされた (Fenner と Martin, 1997; Martin と Fenner, 1997)。この調査は、汚泥の土地への適用が実行できなければ、その汚泥が焼却されるかもしれないという事実によって促進された。焼却は放射性核種を再濃縮し、その灰が埋立地の放射能検出器を作動させる可能性がある。MIBG の投与量の 17% が一次汚泥中に現れたのに対し、ヨウ化ナトリウム (I-131) では投与量の 1.1% であった。ヨウ素 131 は物理的半減期が比較的に短いため、汚泥が土壤に適用されても (汚泥が、飼料に使用される前に、鋤きこまれるか又は保管されるのであれば)、ほとんど放射線学的な懸念はない。最高に被ばくする作業者は、汚泥の焼却後に (スクラバが 2 時間故障すると) 約 $1.7 \mu\text{Sv}$ を受けるであろう。典型的な被ばくをした作業者と公衆 (焼却炉から 500 m の距離に住む) の 22 週間の焼却期間における預託実効線量は、それぞれ $1.2 \mu\text{Sv}$ と $0.06 \mu\text{Sv}$ であった。

(98) 北東大西洋の海洋環境保護に関する 1992 年協定を締結した団体は、1998 年の Oslo and Paris Commission の会合で放射性物質に関する戦略に同意した。その最終の目標は、人工放射性物質に対しゼロに近い環境濃度を達成することであった。英国では、医学以外の原子力産業と連携することにより、2020 年までにこのゴールに到達するための数十年戦略が策定された (UK Department of the Environment, 2002)。医療排出物の大部分は短半減期のテクネチウム 99 m とヨウ素 131 であり、いずれも環境に入る前に非常に低いレベルまで減衰し、したがって環境に測れるほどの影響がないことは明らかであった。病院で生じるもっと問題な 2 つの放射性核種はトリチウムと炭素 14 であった。医療施設がそれらをその認定限度で放出した場合、下水処理作業者は約 0.24 mSv/年 、また下水排水口の下流で捕えられた多量の魚を食べた公衆構成員は 0.18 mSv/年 もの線量を受けるかもしれないと結論された。これらは明らかに悲観的な仮定に基づく上限推定値である。英国環境庁は、例えば下水汚泥の焼却を増加させるなど、下水の処理と処分の方法の変更によって公共下水道への液体放射性廃棄物の処分を見直すために、請負業者を利用している。2 つの下水道事業の結果は、公衆に対する線量が最大放出量で 1 mSv の線量限度以下となったことを示した。また、現在のやり方に基づく、放出低減措置を普遍的に導入する必要性は正当化できないとこの業者は結論した (Environment Agency, 2000)。

(99) Crockett (2000) は、英国の 2 つの市営下水処理プラントにおける放射能の実測値を報告し、英国放射線防護庁 (NRPB) によって考案されたコンピュータモデルを使用して廃水中での放射性核種の挙動及び下水道作業者と公衆への潜在的線量を算定した。Crockett は、下水処理プラントにおける大部分の放射能が放射性医薬品のテクネチウム 99 m に由来し、その次がヨウ素 131 であることを見出した。全ての病院等がそれらの許容限度で放出している場合、一般の下水道作業者と汚泥圧縮作業者に対する線量はそれぞれ $40-80 \mu\text{Sv/年}$ 及び $150-240 \mu\text{Sv/年}$ の範囲内にあるであろう。しかし、それらの施設からの放出は通常、最大許容限度の約 30% であった。処理済み排水の放流による公衆の線量は、病院からの最大許容放出量で

30–180 $\mu\text{Sv}/\text{年}$ 、通常の放出では1–19 $\mu\text{Sv}/\text{年}$ であろう。焼却された汚泥から大気中への放出による公衆の線量は、はるかに少なかった (<2 $\mu\text{Sv}/\text{年}$)。Crockett (2000) はまた、豪雨の場合に下水処理プラントの能力を超えて無処理で水中に放出される状態に至っても、雨水によって大幅に希釈されるため、公衆の線量は大きく影響を受けなかったことを指摘した。

9.4. 埋 立 て

(100) 米国原子力規制委員会 (USNRC) の規則が最近変更され、甲状腺がんのために高用量のヨウ素 131 を必要とする大部分の患者を外来で治療できるようになった。規則の変更前には、患者によって汚染された物品の大部分は集められ、病院で減衰を待った。しかし、現在では、外来患者の家から廃棄物が収集された後、これらの物はたいてい埋立地に送られている。現在多くの埋立地には、身元不明線源と違法な物質を見つけるために放射線検出器が備えられており、これらの検出器は非常に高感度で放射性ヨウ素を見つけることが可能である。これらの検出器は通常、非常に低い放射能レベルを検出して警報を発する。そのため、警報の原因を探る高価な探索が行われる結果となり、ときには廃棄物が患者のところに送り返されて費用が請求された。米国のいくつかの地域では、許可事業者には責任があると考えられ、法的には可能でも病院が患者を解放しない理由となっている。低レベルで減衰の速い物質の処分に関しては、規則を改め、またおそらくスペクトロメトリーを用いる必要があることが示唆されている。

(101) 浸出水の処理をする現代の埋立地では、医療で使用される短寿命の放射性核種が完全に崩壊しないうちに地下水に達することはほとんどなさそうである。Siegel と Sparks (2002) は、解放された核医学患者は安全と考えるが、埋立地の彼らの廃棄物は危険だという矛盾を強調した。Marcus と Aldrich (1997) は、これらの問題が解決できるまで、それらを最小限にするいくつかの提案をした。それらには、紙皿やナプキンよりも洗うことができる材料を使用すること、唾液による汚染を考慮して、治療後の最初の週には、全部を食べることのできない食材 (例えばリンゴやバーベキューにしたスペアリブなど) を避けること、また、洗えないか下水道に処分できないものは全て保管することである。

(102) 埋立地にある放射線検出器は、多くの病院において作業方針を変更させる結果にもなった。放射性ヨウ素で治療するために入院した患者は管理されたが、血液試料 (通常はタリウム 201, ガリウム 67 及びヨウ素 131 で汚染されている) や他の物品 (例えば失禁用のパッド) などの放射性廃棄物は医療廃棄物とともに処分されていた。それらは検出され、その廃棄物は病院に戻された。ある病院では、探査した廃棄物のうち約 20% に放射能が検出された (Evdokimoff ら, 1994)。その結果、多くの病院が廃棄物の容器と医療廃棄物が運び出されるエリアに放射線検出器を取り付けた。放射線が検出された場合、線源の場所が確認され、さらに減衰するのを待つか、あるいは放射性廃棄物とともに処分される。

10. 患者の入院又は解放の決定

- 患者を入院させるか解放するかは個別に決めるべきである。それは、患者に残留する放射能だけに関係づけるのではなく、患者と他の人々との接触の仕方、患者の希望、職業被ばく及び公衆被ばく、家族への配慮、費用、ならびに環境要因など、多くの因子を考慮に入れるべきである。
- ICRP 勧告は、患者が高放射能の放射性医薬品で治療を受けた後に入院すべきであると明確には述べないが、他の人々の公衆線量限度と線量拘束値は守るべきであると勧告する。そしてその後に最適化を行うべきである。
- 最近の刊行物は、患者を入院させるために一部の当局によって使われている仮定が、公衆と介護者への潜在的な線量を過大評価している可能性があることを示した。
- 患者が数日間入院すると、公衆と近親者の被ばくは減るであろうが、職業被ばくは増加するであろう。
- 隔離や入院は、しばしば患者と家族にかなりの心理的負担を伴う。
- 患者が放射性ヨウ素治療後に入院すると、大きな金銭的及びその他のコストがかかることがあるため、それらを分析し正当化すべきである。
- 放射性ヨウ素治療の後に旅行する患者は、旅行時間が2-3時間に限られていれば、他の乗客に障害を与えることはまれである。
- 環境用又はその他の放射線検出装置は、数週間にわたって放射性ヨウ素治療患者を検知するのに通常十分な検出感度を持つ。そのような検出器を操作する要員は、核医学患者を識別し対処するために特別に訓練されるべきである。
- 患者の行動制限についての提案は、モデル化と仮定の違いのために、文献によって大きく異なる。
- 放射線防護の諸注意に従っている近親者又は介護者の線量の実測値は、ICRP が勧告する線量拘束値である数 mSv/エピソードに近づくか又はこれを超えることはほとんどないことを示している。
- 患者の解放後の諸制限は、感受性が高いサブグループ（すなわち乳幼児と小児）に焦点をあてるべきである。

10.1. 総 論

(103) 非密封放射性核種による治療後に患者を解放するかどうかの現行の諸勧告は、世界中で大きく異なる。判断規準として使われてきたのは以下のとおりである：

- (i) ICRP の線量限度と線量拘束値；

- (ii) ICRP 勧告と異なる線量拘束値；
- (iii) 患者に残留する放射エネルギー（体外被ばくの測定から推定）；
- (iv) 患者から一定の距離における線量率；
- (v) 特定の疾患（甲状腺機能亢進症又は甲状腺がん）に対する放射性ヨウ素治療のための入院；及び
- (vi) 子供が家にいるための入院。

(104) 実用上の目的には、公衆及び近親者の被ばくと、退院時に患者に残留する放射能とを関係付けることが便利である（表 10.1）。もしそうするのならば、最新の刊行物と、公衆の線量測定にさかのぼることの出来る現実的なモデルに基づくべきである。問題は、多くの患者が不必要に入院させられていたのではないかと、ということである。この見解はロシア、英国及び米国の著者らによって表明されてきた（Barrington ら、1996 a；deKlerk, 2000；NCRP, 1995；Shishkanov ら、2001；Siegel, 1999）。また、Saenger と Kereiakes (1980) は、放射能に基づいて患者を入院させると、医師が患者の入院を避けるために、投与したいと思うよりも少ない放射能を患者に投与する原因となることがあると報告した。患者の残留放射能は、その後の患者の行動及び近親者や公衆への最終的な線量とはほとんど無関係かもしれないため、遵

表 10.1. 他の人々への外部線量（mSv 実効線量）に応じた、患者の解放に対する放射能（MBq）

核種	半減期	5 mSv 当りの MBq	1 mSv 当りの MBq
¹¹¹ Ag	8 日	19,000	3800
¹⁹⁸ Au	65 h	3500	690
⁵¹ Cr	28 日	4800	960
⁶⁴ Cu	13 h	8400	1700
⁶⁷ Cu	61 h	14,000	2900
⁶⁷ Ga	78 h	8700	1700
¹²³ I	13 h	6000	1200
¹²⁵ I	60 日	250	50
¹³¹ I	8 日	1200	240
¹¹¹ In	67 h	2400	470
³² P	14 日	a	a
¹⁸⁶ Re	90 h	28,000	5700
¹⁸⁸ Re	17 h	29,000	5800
⁴⁷ Sc	80 h	11,000	2300
⁷⁵ Se	120 日	89	18
¹⁵³ Sm	47 h	26,000	5200
^{117m} Sn	14 日	1100	210
⁸⁹ Sr	51 日	a	a
^{99m} Tc	6 h	28,000	5600
²⁰¹ Tl	74 h	16,000	3100
⁹⁰ Y	64 h	a	a
¹⁶⁹ Yb	31 日	370	73

出典：US Nuclear Regulatory Commission, (1997 b)。

^a 公衆の被ばくは非常に少ないので、数値を記さない。

守すべき唯一の規準として残留放射能を使うことには問題がある。

(105) 患者の入院又は解放に関して考慮すべき事項を表 10.2 に示す。

(106) 非密封放射性核種で治療を行った後、以下の理由のうちの 1 つでも該当する場合には、患者を入院させるのがよい。

- (i) 患者を閉じ込めて隔離すると、公衆や近親者への線量は減少するが、医療従事者の職業線量は増加する。これはヨウ素 131 だけに関連する問題である。純ベータ放出核種で治療された患者は入院させる必要がない。
- (ii) 病院では下水道への放射性物質の放出を減らすために、尿を集めて保管することができる。前述のように、いくつかの病院では患者を閉じ込めて隔離するが、患者の尿を集めて保管することは実際のではなく、費用がかかり、職員の線量を増加させ、しかも放出量の実測とその潜在的影響を考慮すると不必要であると思われるので、行っていない。一部の著者らは糞便の採取と保管も提案しているが、排泄経路として小さいため一般には行われない。
- (iii) 非密封放射性核種の治療を受けた重症患者（例えば、広範囲にわたる転移を有する患者の腹膜腔へのリン 32 の投与）。
- (iv) 放射線安全の指示や注意に従うことのできない精神的無気力の患者及び／又は失禁患者。
- (v) 物理的及び社会的な拘束のために子供が密接に接触するような家庭環境。もし病院で尿の採取と保管ができないのであれば、通常では話題に上らない代替の方法は、ホテルのような病院以外の生活施設に患者が数日間滞在することである。これは病院に入院するより安価である。ある国ではおそらく可能であろうが、可能でない国もあるであろう。

(107) めったに触れられないが重要な問題である入院に関するもう一つの潜在的な危険は、抗生物質に抵抗性の感染症が隠されているかもしれない環境に比較的健康的な患者を置いてしまうことである。数人の著者らは、入院の利点として、ヨウ素 131 の体内動態を計算し、吸収線量を正確に評価できることを挙げている。体内動態の研究は外来で実施できるかもしれ

表 10.2. 非密封放射性核種による治療後に患者を解放するか又は入院させるかを定めるための一般的な問題点

問題点	入院	解放
患者環境の管理	高い	低い
職業上の予想線量	あり	最小
近親者の予想線量	最小	あり
公衆の予想線量	最小	あり
廃棄物の処分方法	下水又は貯留	下水
廃棄物からの公衆被ばく	貯留しなければ、あり	同じ
金銭的なコスト	高くなりうる	最小
心理的負担	隔離のためかなり大きい	最小
患者の最期／死亡	葬儀要員の被ばく 火葬制限の可能性	同じ

ないので、これだけで入院が正当化されるとは思われない。

(108) 子供や同意能力のない成人の場合、医師は放射線防護の指示と勧告を与える最も適切な人は誰であるかを決定しなければならない。

(109) ICRP は全ての異なる患者と家庭の状況に対する規準を与えることはできない。治療医は、上述の諸因子を評価し、放射線防護の問題も考慮して、それぞれの患者の状況に対して何が適切かを決定することが期待される。

10.2. 病院職員の職業上の線量

(110) 患者が病院に閉じ込められている時の職業被ばくの主要な源は外部放射線である (Castronovo ら, 1986 ; Ho と Shearer, 1992)。Barrington ら, (1996 a) は、甲状腺がんの (機能的) 除去に対するヨウ素 131 投与後の介護又は経過観察で 7 日間介護を行った看護職員に対する職業線量を計算した。その結果を表 10.3 に示す。実測値は、Barrington ら, (1996 a) による計算が非常に保守的であることを示している。例えば Denman と Martin (2001) は、800 MBq の放射性ヨウ素を投与された末期患者の介護者の実際の値を報告し、看護師が 250 μ Sv の最大実効線量を受けたことを見出した。

(111) 一部の患者、例えば転移性甲状腺がんの患者又は心臓に問題のある甲状腺機能亢進症の患者は、医学的に不安定な状態にあるので、非密封放射性核種で治療した後に解放してはならない。このような患者は通常隔離室に入院しているが、手術や蘇生法までを含む手法を必要とする緊急事態が起こりうる。Griffiths ら, (2000) は、一つのそのような事例における職業線量と汚染について報告した。その患者は 3011 MBq のヨウ化ナトリウム (I-131) を投与され、6 日後に手術を行う必要があった。患者は最終的に死亡し、剖検が行われ、火葬された。外科医は 20 μ Sv、集中治療室の看護師は 40 μ Sv、そして死体安置所の助手は 14 μ Sv の線量を受けた。もしヨウ素 131 の投与直後に外科的処置を必要とする事態が起こったとすると、これらの職員の線量は 0.8 mSv にもなったかもしれないと推定された。集中治療室、体液容器

表 10.3. ヨウ素 131 による甲状腺がんの機能的除去を受けた後 7 日間の、患者から看護師への累積線量計算値 (mSv)

放射能 (MBq)	末期患者	末期に準ずる患者	臥床患者	歩行に介助を要する患者	歩行可能な患者
1850	6.2	2.4	1.0-1.1	0.2	0.08
3700	12.6	4.8	2.1	0.4	0.16
5550	19.0	7.1	3.1	0.6	0.25
7400	25.3	9.5	4.2	0.8	0.33

出典：Barrington ら, (1996 a)。

^a 甲状腺がんの経過観察患者の値は、これらの値の 10% 以内。

及び洗濯物には多量の汚染（約 6 MBq）が存在した。

(112) 病院に隔離された患者は、彼らが接触した表面、特に便器周辺を汚染するであろう。これらの場所は、その室を他の患者が使う前に除染する必要がしばしばある。ヨウ素 131 は唾液中に存在し、看護師は嘔吐、せき、又はくしゃみをする患者を扱う場合には注意を払うべきである。ヨウ素 131 で治療された患者は、その一部を室内の空气中に吐き出すであろう。少なくとも 1 つの報告によれば、甲状腺がんの患者は、治療後の 1 日目に最大許容濃度を十分に上回る量を吐き出した (Ibis ら, 1992)。ときには、放射性ヨウ素で治療された患者が血液の処置（特に血液透析）を必要とすることがある。ヨウ素 131 で治療された患者の血液透析後に透析装置に大きな放射能汚染があったとする報告はない。テクネチウム 99m のような他の放射性核種を投与された患者においても、このことは確かめられている。ヨウ素 131 で治療された患者が血液透析を行った後、使い捨ての管、廃棄物の袋及びフィルタにわずかな汚染があり、処分する前に減衰を考慮するため約 8 週間保管する必要があるかもしれない。血液透析を受けている甲状腺機能亢進症患者のヨウ素 131 の平均実効半減期は約 7 日と思われ、それは血液透析を受けていない甲状腺機能亢進症患者における実効半減期よりも長い (Homer と Smith, 2002)。

10.3. 入院の心理的負担

(113) 病院に隔離されることは患者にとって独特のそして憂うつな状況として広く認知されているが、患者の解放に関してこのことはほとんど考慮されていなかった。患者たちは、病室への隔離は治療が実際以上にずっと危険であるに違いないことを自分たちにほのめかしているのだ、と何度も指摘した。防護の措置が厳しいほど、患者たちはより不安になる。隔離の主な理由は、医療従事者が多数の患者から受ける職業線量の集積を制限することと、ALARA (as low as reasonably achievable given social and economic factors; 社会的及び経済的要因を考慮して合理的に達成できる限り低くすること) の原則であることを、患者たちは理解していない。放射性核種による治療後に推奨される制約が書かれた長大なリストを渡された患者は、大きな放射線の危険があるに違いないと感じる。隔離の根底となる理由が説明されない限り、心理的な問題は増大する (Moreno Garcia, 2001)。心理的な問題は、患者を入院させるか解放するかのご決定において重要な要素となるべきである。

(114) 放射性ヨウ素で治療される患者の家族に乳幼児や小さな子供がいる場合には、外部被ばくと患者の唾液による汚染の両方からのリスクがある。しかしながら、子供に対する親の支えは非常に重要であり、親子の分離に関する配慮は、そのような分離の心理的負担を勘案してなされるべきである。

10.4. 入院の費用便益分析

(115) あらゆる放射線防護問題の一部として、費用を行為又は手法の正当化と最適化の両方の観点から考慮すべきである。しかし、非密封放射性核種による治療を受けた後の患者の解放に関連する様々な方法に付随した費用を決めようと試みた著者や組織はほとんどない。理想的には、「費用」は金銭的な費用ばかりでなく、心理的な影響や悪い健康影響も含むべきである。ある具体的な問題についての費用便益分析は、国によってかなり異なることがあるが、それは最適化の過程を支援するツールを提供する。

(116) 米国原子力規制委員会 (USNRC) は、以下の3つの選択肢について調査した。

- (i) 選択肢1：患者以外のいかなる人も年実効線量限度1mSvを達成するよう法規を改正する。
- (ii) 選択肢2：患者の残留放射能が1100 MBq未満あるいは患者から1 mにおける線量率が0.05 mSv/h以下となるまで閉じ込めを必要とする。
- (iii) 選択肢3：患者にさらされる人々について、実効線量限度を5 mSvと定める。

(117) ヨウ素131を用いて行う2,3の診断手法を除いて、診断手法はどの選択肢を選ぶかに影響を受けず、いくつかの治療手法だけが選択の影響を受けた。解析結果を表10.4に示す。ヨウ素131は物理的半減期が短く、また他の人々の被ばくの大部分は外部被ばくによるものであるため、集団線量は放射性ヨウ素投与後の1週間かそこらに患者のすぐ近くにいた人数の関数である。この解析について、患者に投与された放射能の平均値の評価と、患者以外で被ばくが最大であった人の線量推定がなされた。手法当たりの集団線量は、居住係数に基づいて、最も被ばくした個人の線量の約3倍と仮定された。甲状腺の(機能的)除去と甲状腺がんの治療に対して、手法当たりの集団線量は、それぞれ4.7人 mSv及び15人 mSvと推定された。金銭的な負担は国によって異なり、また負担は手法の頻度に関連するが、表10.4に米国における選択肢のインパクトを示す。

表10.4. 非密封放射性核種投与後の患者の解放に関するいろいろな選択肢の、米国における年間費用の推定値

選択肢	集団線量 (人 Sv)	病院滞在 日数 (日)	入院費用 (百万ドル)	損失時間の 価値 (百万ドル)	記録保存 (百万ドル)	心理的負担 (相対的)
1	184	427,000	427	256	0	高
2	298	16,000	16	10	0	中
3	325	0	0	0	2.3	低

選択肢1は最小の集団線量、最大の費用、及び最大の心理的負担と関連する。これを選択肢3と比較すると、集団線量の減少は人 Sv 当たり約2百万ドルの出費となる。

出典：US Nuclear Regulatory Commission, (1997 a)。

10.5. 患者の旅行中における他の人々への線量

(118) 800 MBq 未満の放射能による甲状腺機能亢進症の患者に関する最近の英国の研究では、彼らの家への帰途の線量率は平均 $49 \mu\text{Sv/h}$ (範囲 $4-252 \mu\text{Sv/h}$) である。ある著者らはこの値及び他の測定値をもとに、個人的な交通手段の際には時間を制限する必要がなく、公共の交通機関を利用する場合には、ときに時間を制限する必要があると主張している (Barrington ら, 1996 b ; Gunsekera ら, 1996)。O'Doherty ら, (1993) は、放射性ヨウ素で治療された甲状腺機能亢進症患者の旅行のための指針を提案した。これらは表 10.5 に示されている。

(119) Barrington ら, (1996 a) は、実測された線量率に基づいて公衆の線量を 1 mSv/年 に制限するために、甲状腺がん患者のヨウ素 131 による (機能的) 甲状腺除去又は経過観察の患者のための旅行指針値を計算した。結果は表 10.6 に示す通りであり、提案された制限は表 10.7 に比較されている。

表 10.5. 公衆の線量を 5 及び 1 mSv/年 に制限するために、成人の甲状腺機能亢進症患者に提案される旅行時間 (h)^a

放射能 (MBq)	個人的交通手段による旅行/日 第 1 週	個人的交通手段による旅行/日 第 2 週	公共交通機関による旅行/日 第 1 週	公共交通機関による旅行/日 第 2 週
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)

個人的交通手段による旅行はパートナー以外の人と 1 m の距離で接触し、公共交通機関による旅行はパートナー以外の人と 0.1 m の距離で接触する。

出典：O'Doherty ら, (1993)。

^a カッコ内の値は公衆の線量を 1 mSv/年 に制限するために提案される時間。

表 10.6. 公衆の線量を 1 mSv/年 に制限するための、甲状腺がん患者の旅行時間 (h)^a

放射能 (MBq)	投与後 24 時間以内の個人的交通手段による旅行/日	投与 24 時間以後の個人的交通手段による旅行/日	投与 48 時間以後の個人的交通手段による旅行/日
1850	8	20.5	24
3700	4	10	18.5, 24 ^a
5550	2.5	6.5	12.5, 17 ^a
7400	2	5	9, 13 ^a

出典：Barrington ら, (1996 a)。

^a 最初の値は機能的甲状腺除去患者、2 番目の値は経過観察患者の場合。

表 10.7. ヨウ素 131 を投与された患者と接触する人の被ばくを 1 mSv/年に抑えるために、いろいろなモデルによって作成された、提案される旅行制限時間の比較

放射能 (MBq)	個人的交通手段による旅行/日 (h)	公共交通機関による旅行/日 (h)
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)

カッコ内の値は O'Doherty ら, (1993) による。
 出典: Leslie ら, (2002), および O'Doherty ら, (1993)。

10.6. 国境及び空港などにある放射線検出装置

(120) 測定可能なガンマ線を放出する放射性核種を体内に有する患者を解放する時の考慮の一つは、放射線検出システムのある彼らの職場や国境、空港、及びその他の場所で予期せずに検出されることである (IAEA, 2002 b)。放射線検出システムのある区域 (例えば原子力発電所や研究室) に職場復帰する人に対しても、そのような患者の解放において考慮すべき事項がある。職場に戻る人々については、多くの場合彼らのことがよく知られており、またある程度のレベルの保安検査があるので、通常大きな困難はない。

(121) 患者が空港などで検出された場合には、これらの装置は違法な放射性物質の輸送を制限し、また身元不明線源がたまたま輸送されるのを見つけるために設置されているので、状況はもっと難しい。医療用放射性核種の多くは寿命が短い、残留放射能は数日又は数週の間、現在の検出システムによって検出できることがある。国境における警報の大部分は、違法な物質によるのではなく、医用放射性核種又は自然起源の放射性物質による『無実の』警報である。一人の人が関係する警報の場合、通常その人は検出器を二度通される。再度警報が鳴った場合には通常、所持品と分けられて検査される。検出装置でガンマ線スペクトルを測定し、放射性核種を同定することが最良であることは明白である。

(122) 多くの医師は患者に医療が行われたことを記載した情報カードを渡すが、十分に訓練されていない保安要員にはそれが受け入れられないことがある。IAEA は違法な物質が適法の放射性核種とともに輸送される可能性に言及したが、その結果、多くの患者が足止めされ、尋問を受けるであろう (Buettner と Surks, 2003)。若干の不便を進んで経験する気がない限り、患者は主要な公共の場所 (空港、国境検問所、地下鉄、船舶及び公共建物) をあまり旅行しないように提案するのが最も良いかもしれない。そのような助言をする場合、検出装置の感度は非常に高く、健康に心配がないような低レベルの放射線も検出してしまうことを患者にはっきり示すべきである。現在の技術では、2-3 m の距離で約 0.01 MBq のヨウ素 131 の放射能を検出することが可能である。

10.7. 家庭環境における被ばく

(123) 放射性ヨウ素による治療を受けた患者の近親者と介護者に提案される制限は非常に様々である。それには多くの理由がある。ある距離において短時間測定された線量率を実効線量の代りとして使うと、提案される制限は2倍以上厳しくなろう。ある著者は点線源又は線状線源からの放射線をファントム中で測定したが、そのために違いを生じている。患者からの放射性ヨウ素のクリアランス動態に関する多くのモデルにも仮定がある。最後に、旅行の形態、一緒に就寝している時間、近親者からの距離などに関する仮定の中にも違いがある。これらの因子の多くは国によってあるいは同じ国の中でも家庭の間でかなり異なる。モデルを使い、また習慣を仮定する場合、平均値ではなく67から95パーセンタイルの値を使用することがおそらく慎重なやり方であろう。最後に、近親者と介護者の線量実測値は、モデルよりも価値がありそうである。

(124) Hilditch ら、(1991) は、甲状腺機能亢進症の患者について、ヨウ化ナトリウム (I-131) 投与後のいろいろな時間における甲状腺の平均的な放射能を百分率として測定し、これらの値が公衆／子供と患者との間の接触を制限する期間の決定に使えるかもしれないことを示唆した。米国原子力規制委員会の規則の改正 (1997 b) では、患者の治療後の解放はもはや残留放射能に基づくのではなく、公衆と介護者の推定線量に基づいていた。その仮定は、患者からの汚染は他の人々へ有意な被ばくを与えそうにない、ということであった。Johnson ら、(2002) は、放射性ヨウ素で治療された甲状腺がん患者の近親者の甲状腺の放射能を測定した。甲状腺の最大の取り込みは、実効線量で0.08 mSv となった。新生児に対しては、実効線量の最大値は1.4 mSv になったであろう。

(125) 放射性ヨウ素治療後の患者が家庭に及ぼす危険については、数十年にわたって調べられてきた。740 MBq 未満のヨウ化ナトリウム (I-131) を投与された後に解放された甲状腺機能亢進症患者についての初期の研究は、非常に低いヨウ素の放射能が近親者に検出されたことを示しており、外部放射線のほうが重要と思われたが、それでもなお、そのときに勧告されていた線量限度の十分範囲内であった (Buchan と Brindle, 1970, 1971)。もう一つの初期の研究でも、近親者の外部線量は大部分の事例で相互汚染からの値を実質的に上回ることが結論された。しかし、多数の近親者において甲状腺の放射能が検出可能であった (Jacobson ら、1978)。

(126) 家庭における患者に提案されている制限は、発表された文献によって大きく異なる。ここに2,3の例を示す (付録 B を参照)。Leslie ら、(2002) は、大部分のモデルが近距離での放射性ヨウ素の線量率を過大評価していることを示した。彼らは成人と乳幼児のファントムを使用した。成人のファントムが受ける線量は、患者に接触している場合と、患者から1 m 及び2 m 離れている場合が測定され、乳幼児のファントムが受ける線量は、2方向の接触 (患者が乳幼児を肩越しに抱きかかえた場合とウェストで抱きかかえたとき) の場合が測定された。

ファントム中で測定された線量は、他のモデルによって予測された線量よりかなり低かった。もしそれが正しければ、患者の接触の制限は現在広く使われているより緩やかにできたかもしれないことを示唆している。表 10.8 は O'Doherty ら、(1993) の結果を Leslie ら、(2002) の結果との比較で、特にパートナーとの就寝や休業については大きな違いがあることを明らかにしている。近親者に対する線量の実測値は最も現実的なものである。O'Doherty ら、(1993) の提案した指針を表 10.9 に示す。

(127) 甲状腺がんの治療後に 2 日間入院して解放された患者に関するベルギーの研究によると、8 日間別々に就寝したパートナーに対し、2 週間の線量中央値は 0.17 mSv (範囲 0.02–0.49 mSv) であり、一緒に就寝した場合には 0.24 mSv (範囲 0.05–0.53 mSv) であった。甲状腺機能亢進症の患者の場合には、対応する数値は 1.07 mSv (範囲 0.22–1.27 mSv) と 1.01 mSv (範囲 0.05–5.23 mSv) であった。これはパートナーと一緒に就寝することで 0–40% 線量が増加するかもしれないことを示唆している (Mathieu ら、1997)。

(128) ベルギーの多施設共同研究は、中央値が 759 MBq、平均値が 370 MBq (範囲 185–1665 MBq) の放射能で甲状腺機能亢進症の治療を受けた 52 人の患者の近親者のデータを報告している (Monsieurs ら、1998)。外来患者と入院患者の近親者の平均線量は、それぞれ 0.6

表 10.8. ヨウ素 131 を投与された患者と接触する人の被ばくを 1 mSv/年に抑えるために、いろいろなモデルによって作られた、提案される職場及び家庭での制限の比較

放射能 (MBq)	欠勤 (日)	パートナーと離れて就寝 (日)	乳幼児との密接な接触の制限 (日)
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)

カッコ内の値は O'Doherty ら、(1993) による。

出典：Leslie ら、(2002)、及び O'Doherty ら、(1993)。

表 10.9. 職場の同僚と近親者の線量を 5 または 1 mSv/年に抑えるための甲状腺機能亢進症の治療指針^b

放射能 (MBq)	欠勤 (日)	離れて就寝する時間 (日) ^a	2 歳未満の子供との接触を制限する時間 (日)	2–5 歳の子供との接触を制限する時間 (日)	5–11 歳の子供との接触を制限する時間 (日)
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)

出典：O'Doherty ら、(1993)。

^a 1 m 離れた 8 時間の睡眠を仮定。

^b カッコ内の数値は、線量を 1 mSv に制限するために提案される指針値。

mSv（範囲 0–2.0 mSv）及び 0.8 mSv（範囲 0.4–1.7 mSv）であった。患者から 1 m における線量率が $20 \mu\text{Sv/h}$ 未満になったとき入院患者は退院した。患者が 21 日間パートナーと別々に就寝した場合、就寝の仕方についても検討され、パートナーに対する線量は全て 1 mSv 未満であった。

(129) 英国の 5 つのセンターにおける放射能の中央値が 388 MBq（範囲 200–608 MBq）の甲状腺機能亢進症患者の研究では、家族の成人全員について外部線量は 5.3 mSv 未満であると報告された（Barrington ら, 1999）。著者らは就寝の仕方の影響についても調べ、2 種類の助言（A 及び B）をしている。別々に就寝する期間は、助言 A では 200 MBq の場合に 1 日、400 MBq の場合に 5 日、600 MBq の場合に 9 日、800 MBq の場合に 12 日であった。この期間は、助言 B では、200 MBq の場合に 15 日、400 MBq の場合に 20 日、600 MBq の場合に 24 日、800 MBq の場合に 26 日であった。助言 B に従った人々の成人線量は、助言 A（表 10.9 を参照）に従った人々の線量の 32% であった。

(130) Barrington ら, (1996 a) は、甲状腺がんの患者が制限を無視した場合に、同僚と近親者が受けるかもしれない潜在的線量の推定値を発表した。それらを表 10.10 に示す。

(131) さらに Barrington ら, (1996 a) は、職場の同僚と近親者の線量を 1 mSv に制限するための指針を発表した。それらを表 10.11 に示す。

表 10.10. 制限が守られなかった場合の、甲状腺がん患者から職場の同僚及び近親者への累積線量の推定値 (mSv)

放射能 (MBq)	職場の同僚	パートナー	2歳未満の子供	2–5歳の子供	5–11歳の子供
1850	1, 2 ^a	18, 26	25, 33	13, 17	7, 9
3700	3, 5	35, 52	50, 66	26, 35	13, 18
5550	4, 7	53, 78	75, 99	38, 52	19, 26
7400	5, 9	71, 104	100, 132	51, 69	26, 35

出典：Barrington ら, (1996 a)。

^a 最初の数値はがんの経過観察の患者、2 番目の数値は（機能的）甲状腺除去の患者の場合。

表 10.11. 職場の同僚及び近親者の線量を 1 mSv/年に制限するために、甲状腺がんに対して提案される指針値

放射能 (MBq)	欠勤 (日)	パートナーと離れて就寝し、接触を制限する時間 (日)	2歳未満の子供との接触制限時間 (日)	2–5歳の子供との接触制限時間 (日)	5–11歳の子供との接触制限時間 (日)
1850	1, 3 ^a	3, 16	4, 16	3, 13	2, 10
3700	2, 7	4, 20	4, 20	4, 17	3, 13
5550	2, 10	4, 22	5, 22	4, 19	3, 16
7400	2, 12	5, 23	5, 24	4, 21	4, 17

出典：Barrington ら, (1996 a)。

^a 最初の数値はがんの経過観察の患者、2 番目の数値は（機能的）甲状腺除去患者の場合。

(132) 英国放射線医学研究所 (British Institute of Radiology) のもっと最近の勧告 (1999) では、制限される期間は、表 10.12 に示されるようにいくらか短い。

(133) 同意能力のない子供の場合、放射線防護に関する助言はその子供の親権者に与えられるべきである。ある国々では、両親が子供に代わって同意してよいが、そうでない場合には線量限度が適用される。*Publication 60* (ICRP, 1991) は、特別な状況の場合に、5年間の平均値が 1 mSv/年を超えないならば、1年間にもっと高い実効線量が許されるかもしれないことを示している。前の ICRP 勧告は、子供の放射線被ばくに対する親の同意の問題に言及しなかった。放射性ヨウ素治療の直後には授乳を直ちにやめるべきである。

(134) 解放された甲状腺機能亢進症患者の近親者における外部被ばく線量の実測値についての英国の研究では、子供全体の 89% が 1 mSv 未満の線量であった。しかし、3歳以下の子供の 35% が 1 mSv 以上を受けたため、若年の小児には特別な注意の必要性が示されたことは興味深い (Barrington ら, 1999)。ベルギーでの研究のデータは、甲状腺がんの患者が病院から解放された後に、小児が 8日間家庭から離れていた場合の小児の線量は 0.08 mSv (範囲 0–0.35 mSv) であったことを示している。甲状腺機能亢進症の患者の場合の線量は 0.13 mSv (範囲 0.04–3.12 mSv) であった (Mathieu ら, 1999)。Mathieu ら, (1999) は、他の成人の線量が 1 mSv を超えないようにするのであれば、甲状腺の放射能が 300 MBq 以下となるまで患

表 10.12. ヨウ素 131 による甲状腺機能亢進症の治療後に推奨される行動制限

制限	30–400 MBq	400–600 MBq	600–800 MBq
子供及び妊婦とのすべての密接な接触 (日)	9	12	14
子供及び妊婦との長時間の接触 (日)	21	25	27
成人と一緒に就寝しない (日)	–	4	8
他人との長時間の接触を避ける (日)	–	–	1

出典：British Institute of Radiology, (1999)。

表 10.13. いろいろなカテゴリーの介護者に対する線量拘束値

介護者のタイプ	線量を拘束する理由 (リスク, 習慣)	線量拘束値 (mSv)
第三者	公衆に対する線量限度の一部	0.3
近親者及び親しい友人		
妊婦	胎児の保護	1
2歳までの子供	両親との身体の接触	1
3–10歳の子供	胎児と同様のリスク	1
60歳までの成人	小児よりもリスクは2–3倍低い パートナーへの若干の勧告	3
60歳を超える成人	重症の入院患者の慰安には適用されない 平均集団に対するよりもリスクは3–10倍低い	15

出典：European Commission, (1998)。

者と密に接触すべきでないことを示した。彼らはまた、若年小児の場合には甲状腺の放射能が 100 MBq 以下となるまで、乳幼児と妊婦には 50 MBq 以下となるまで、患者との密な接触を勧めていない。一部の著者は、子供と暮らしている患者は短期入院が好ましいと勧告している (Reiners と Lassmann, 1999)。そうすることで、寝ている母親のベッドの中に小さな子供が這いもぐって行くというシナリオが避けられるであろう。

(135) European Commission (1998) は、いろいろなカテゴリーの介護者に対する線量拘束値を提案した。これらは ICRP 勧告よりも詳しく述べられており、それを表 10.13 に示す。

11. 解放規準に関する国際的ガイダンスと国内のガイダンス

- 解放規準の基礎は、公衆の線量限度及び家族と介護者の線量拘束値である。それにもかかわらず、患者の入院と解放を決めるのに用いられる規準には大きなばらつきがある。現在ある解放規準の2つの一般的な形式は、個々の状況と他の人々の予測線量に基づくもの、及び、残留放射能（通常保守的な仮定に従った）に基づくものである。
- 生活習慣は各国間ではもとより同じ国の中でさえ異なるため、解放規準に一つのモデルを使うことは適切な最適化ではない。患者の解放は家庭環境（残留放射能と最悪のシナリオでなく）に基づくべきであると勧告する。また、隣接する国が多数あるときには、患者を解放する手順を同じか又は類似のものにすることを勧告する。

(136) ICRP は、非密封放射性核種による治療後の患者の解放に関して従うべき規準についての勧告を提供してこなかった。その代わりにICRPの勧告は、病院で職業上被ばくする作業員の線量限度、公衆の線量限度及び介護者の線量拘束値に向けられていた。このように、ICRPは入院を必要とする残留放射エネルギーのレベルを設定しなかった。線量限度と線量拘束値の問題が折り合えば、患者は残留放射エネルギーの大きさによらず解放してよい。

(137) 以下の文章は、異なる国と地域で使われてきた様々な解放規準の概観である。いくつかの異なるアプローチが試みられてきた。最も普通のアプローチは、近親者、介護者及び公衆が受けると予想される線量の計算と推定による放射能又は線量率に基づいた解放規準である。使われるモデルと仮定の違いにより、患者の解放規準は非常に幅広く異なっている。その結果、非常に保守的な解放規準を持つ国に住んでいる一部の患者は、治療のために他国に行くであろう（いわゆる『核観光旅行』）。

(138) 最近の多数の刊行物には、外部線量率と汚染の可能性の実測値が報告されている。それらの知見に照らすと、ある国で使用されている解放規準はあまりにも制限が厳しく、適切な正当化と最適化なしに放射線防護に焦点を当てていることが示唆される。BeierwaltesとWidman (1992) は、放射性ヨウ素で治療された患者からの外部線量率と汚染は測定可能であるが、それらは低いため、有害な影響の実際的なリスクは証明されなかったと指摘している。

(139) 放射線防護のための国際基本安全基準 (BSS) (IAEA, 1996) には、病院から解放できる患者の最大放射能が含まれている。BSSはそれについて以下のように述べている、『体内の放射性物質の放射能が付則Ⅲの表Ⅲ-Ⅳに指定するレベル以下に下がるまでは、患者を病院から退院させてはならない。』ガイダンスレベルはヨウ素 131 だけに触れており、1100 MBq であるが、良い慣行の目安として、400 MBq のレベルがいくつかの国々で使われている、と脚注に記されている。

(140) IAEA は、放射性核種による治療後に残留する放射能が容認できるレベルに落ち着くまでは、患者を退院させてはならず、また、その場の条件と患者家族の潜在的被ばくを考

慮に入れた上で、規制当局は国際基準（特に BSS，付則Ⅲ，表Ⅲ-Ⅳ）に準拠したレベルを設定すべきであると指摘している。さらに、退院前に患者の放射能を推定又は測定して、その結果を記録すべきである。患者には、近親者や接触する可能性がある他の人々の防護のために必要な注意を、書面と口頭で指示すべきである。高齢者や子供には特別な注意が必要かもしれない（IAEA, 2002 a）。

(141) 欧州各国は、欧州 BSS (European Union, 1996) と医療被ばく基準 (European Union, 1997) をすでに採用したか又は採用手続き中である。ヨウ素 131 治療後の放射線防護に関する EURATOM(1997)の指針は非常に制限が厳しく、若年の家族を持つ者に対しては、400 MBq の放射能の投与後、2-3 週間の制限になる可能性がある。EU 内では、95 MBq から 800 MBq までの範囲の誘導残留放射能拘束値を適用している加盟国があるが、大部分の加盟国では 400 MBq から 600 MBq の間に設定されている。

(142) 欧州甲状腺協会 (European Thyroid Association) は現在、所定の制限を守るという条件で、最大 800 MBq の放射能のヨウ素 131 を投与された患者の外来治療を支持している (European Thyroid Association, 1996)。実効線量を 1 mSv/年に制限している EURATOM BSS 96/29 は、『その職業の一部としてではなく、診断と治療を受けている入院患者又は外来患者の支援と慰安を、承知の上で進んで手伝っている個人の被ばく』には適用されない (European Union, 1996)。

(143) 欧州委員会 (1998) は『原則として、放射性ヨウ素を用いる甲状腺がん患者の治療は、患者を入院させた上でのみ行われるであろう』と述べている。

(144) 欧州の多数の刊行物には以下のような線量拘束値が提案されている：子供と胎児には 1 mSv；60 歳までの成人には 3 mSv；60 歳以上の成人には 15 mSv；第三者／一般公衆には 0.3 mSv (European Commission, 1998)。これらはスウェーデンの法規と同じである。スウェーデンでは、患者の放射能がヨウ素 131 で 600 MBq 未満、リン 32 で 1200 MBq 未満、及びイットリウム 90 で 1200 MBq 未満ならば、入院を必要としない (Swedish Radiation Protection Institute, 2000)。

(145) ドイツでは、放射性ヨウ素治療を受けるほとんど全ての患者は、少なくとも 48 時間は入院しなければならない。退院のための限度は、公衆に対して 1 mSv であり、これは 2 m の距離で測定された 3.5 μ Sv/h に相当する。ヨウ素 131 の実効半減期 7 日を考慮すると、患者の退院時における放射能の限度は 250 MBq である。異なった体内動態を持つ患者に対しては、1 mSv を超えないという条件をつけて、また、難しい心理的状況にある患者に対して、放射能をもっと高くすることができるかもしれない。

(146) 日本では、ヨウ素 131 を投与された患者の体内の放射能が 500 MBq 未満又は体表面から 1 m で 30 μ Sv/h 未満ならば、解放してよい。ストロンチウム 89 を投与された患者は、体内に残存する放射能が 200 MBq 未満ならば解放してよい。ロシアの現在の患者解放規準は、公衆に対して 1 mSv を上回らないことに基づいている。

(147) オーストラリアとニュージーランドのいくつかのグループは、治療量の非密封放

放射性核種で処置された患者に関する放射線防護と安全の問題を研究している。これらのグループには、オーストラリア・ニュージーランド核医学会のほか、南オーストラリア病院と大学の放射線安全担当者グループが含まれている。現在の退院勧告の草案は、基本的に公衆、子供及び妊婦に対しては1 mSv/年、また患者の介護を行うことに同意している友人と近親者に対しては5 mSv/年という限度に基づいている。線量限度に加えてALARA原則が使われている。外部照射の線量率が3 mの距離で25 μ Gy/hを上回る場合には、患者を管理区域から非管理区域に解放させるべきでないという規定がある(ARPANSA, 2002)。さらに、特定の放射性医薬品の年摂取限度と比較して予測された放射能の排泄に依存する解放に関連した提案もある。

(148) 英国では、諮問委員会が国内及び国際的な勧告に基づくガイダンスを最近発表した。これは本質的に優良臨床試験基準(GCP)への手引きであったが、患者の解放に関するガイダンスは全く含まれていなかった(Administration of Radioactive Substances Advisory Committee, 2000)。解放のガイダンスは、「医学における物理工学研究所の医歯学指針の覚書 Medical and Dental Guidance Notes of the Institute of Physics and Engineering in Medicine」の中に見ることができる(NRPB, 2000)。患者は、様々なグループの潜在的線量に基づいて病院から退院してよい。慰安者と介護者に対して勧告された線量拘束値と線量限度は、手法当たりそれぞれ5 mSvと限度なしである。家族の他の構成員に対するそれらの値は、5年間でそれぞれ1 mSvと5 mSvであり、一般公衆の構成員に対しては、5年間でそれぞれ0.3 mSvと5 mSvである。

(149) 米国では、患者を線量に基づいて解放するアプローチが30年以上も前に提案された。1970年に米国放射線防護・測定審議会(NCRP)は、放射性核種によって線量率と半減期が大きく異なるため、病院からの解放の根拠としてもっと意味があるのは、患者が交際しそうな他の個人に起こる可能性のある被ばくであると述べている(NCRP, 1970)。

(150) 1997年に米国原子力規制委員会(USNRC)は、放射性物質で治療した患者の解放のための規則を、放射能に基づいた限度から線量に基づく限度に改めた(USNRC, 1997b)。新しい規則は、最大に被ばくする個人が5 mSvの実効線量を超えそうにないことを基礎としている(表11.1)。この線量限度が守られていることは、放射能又は線量率の規定値の表を用いるか、あるいは患者ごとに線量計算を実施することによって示される。妊娠した女性の被ばくに関する具体的なガイダンスはないが、授乳中の子供への実効線量が1 mSvを超えそうな場合には、書面による指示を与えなければならないと述べている。

(151) 他の人々から距離を保つこと、公共の場所にいる時間をなるべく短くすること、放射能汚染の広がりを減らす予防措置、及びその予防措置が有効であるべき時間の長さについて、具体的な指示が求められる。通常、指示は表11.1に示された解放値の0.2倍のところを要求される。

(152) 表11.1に示す放射能と線量率は、各々の放射性核種の実効半減期ではなく、物理的半減期に基づいているため、保守的である。これは近親者や介護者のほか公衆への線量も過大評価する。患者ごとに線量を計算すれば、線量推定値はもっと現実的で適切なものになり、

患者はより高い放射能で退院することができる。事実、米国では現在、適性があり協力的な患者は、8000 MBq もの高い放射能のヨウ素 131 でも通常退院している。

(153) 最近 Coover ら, (2000) は, USNRC の規則に合致する簡略化された方法を提案した。数学的モデルを用いて, 居住係数を考慮した投薬量のチャート (表 11.2) を作成した。その結果は, 甲状腺がんに対して, 放射性ヨウ素治療を受けた外来患者の大部分が 7400 MBq 以上で治療できることを示している。この方法によると, 医師は 3 つの異なる期間の居住係数 (OFs) を決めることを求められる。それらは, 投薬後 8 時間の平衡前期間 (OF_p), 2 日間の拘束期間 (OF_c), 及び無拘束期間 (OF_{uc}) である。OF は近親者又は介護者が患者から 1 m の距離にいる時間の百分率で決められている。拘束期間中, 患者は別の寝室で就寝することになる。この方法の使用例を以下に示す。

表 11.1. 米国原子力規制委員会がそれ以下で患者の解放を認める放射能と線量率

放射性核種	放射能 (GBq)	1 m での線量率 (mSv/h)
Au-198	3.5	0.21
Ga-67	8.7	0.18
I-123	6.0	0.26
I-131	1.2	0.07
In-111	2.4	0.2
P-32	^a	^a
Re-186	28	0.15
Re-188	29	0.20
Sm-153	5.2	0.06
Sr-89	^a	
Tc-99m	28	0.58
Tl-201	16	0.19
Y-90	^a	
Yb-169	0.37	0.02

^a 公衆への被ばくがほとんどないため, 数値を表記しない。

表 11.2. 放射性ヨウ素で甲状腺がんを治療した患者からの近親者及び介護者の線量が 5 mSv になる, 3 種類の異なる期間に対する, 居住係数を基にした最大投与量 (MBq)^a

	OF _c =0.125	OF _c =0.125	OF _c =0.25	OF _c =0.25
OF _p	OF _{uc} =0.25	OF _{uc} =0.50	OF _{uc} =0.25	OF _{uc} =0.50
0.0	20,600	12,700	15,000	10,300
0.25	13,200	9800	11,100	8300
0.75	8400	6700	7300	6000

取り込みの割合を 0.05 と仮定, 活動の拘束期間を 2 日間と仮定する。(*記号の説明については本文参照。)

出典: Coover ら, (2000)。

^a 数値は丸めてある。

(154) 6歳の娘と同居している29歳の女性が残存甲状腺の(機能的)除去を行うために来院する。彼女の娘は1日8時間学校にいる。母親は月曜日の朝に放射性ヨウ素を投与され、帰宅して8時間一人である。カウンセリングにより、拘束期間と無拘束期間のOFはともに0.25となるであろう。表11.2の値を用いると、投与できる最大放射能は15,022 MBqとなる。彼女には子供がおり、線量限度は1 mSvであるから、表11.2の値を5で割る、すなわち3000 MBqにする必要がある。甲状腺機能亢進症患者の治療にも同じような方法を適用することができる。

(155) 新しい規則が出たすぐ後に公表された規制分析は、入院期間が短くなったか、あるいは入院しなくなったと結論付けている。これはコストをかなり減らし、患者と近親者に情緒的な利益を提供したかもしれず、また病院職員の職業被ばくを減らした。少なくとも1人の著者は、『これは患者に利益があると同時に、他の人々に対するリスクが非常に低く、線量レベル5 mSvでは実証できないのであるから、米国のアプローチを他の国も採用すべきである』と示唆した(Lubin, 2002)。

12. 抗体治療

- 放射性ヨウ素による抗体治療がより一般的になってきている。放射線防護の問題は、他の形式の放射性ヨウ素治療の場合と同様である。

(156) これまで、文献は主として甲状腺機能亢進症又は甲状腺がんの治療に対するヨウ化ナトリウム (I-131) を扱っていた。近年、非 Hodgkin リンパ腫の免疫治療が急速に普及してきた。この放射線治療は、免疫グロブリン G, κ モノクローナル抗体 ibritumomab が悪性及び正常の B リンパ球の表面にある C 20 抗原に特異的に結合することによって効果を発揮する。抗体はヨウ素 131 又は、より一般にはイットリウム 90 で標識することができる。

(157) ヨウ素 131 標識を用いる症例においては、通常飽和したヨウ化カリウムで甲状腺をブロックする。解離した全てのヨウ素 131 は、急速に尿中に排泄される。尿中排泄は 1 週目で約 7% である。治療開始から 1 週間は、性交の際にコンドームを使用し、ディープキスは避け、体液が他人に移らないようにすることを勧告する。患者には、便器を使用した後に十分手を洗うよう助言する。イットリウム 90 は純ベータ線放出核種であり、ベータ線の飛程が 5 mm (細胞直径の 100–200 倍) であるため、抗体がイットリウム 90 で標識されている場合には、放射線防護の問題は小さい。

(158) 抗体治療患者の線量率に関する最近の研究によると、投与放射能量の平均が 3100 MBq の場合に、投与直後の 1 m における線量率の測定値は平均で約 0.11 mSv/h である。これは、点線源モデルを使用して計算された線量率の約 60% である。近くで最大に被ばくした人 (1 m における居住係数が 0.25) に対して計算された線量は、平均で約 3 mSv である (Siegel ら, 2002 b)。0.94 から 4.77 GBq までの放射能を用いて抗 B 1 抗体による免疫治療を受けた患者の近親者の実測値は、0.17 から 4.09 mSv の範囲の値であった (Rutar ら, 2001)。測定された線量が米国原子力規制委員会の方法を使用して計算された線量の約 3 分の 1 であったことを指摘するのは興味深い。

13. その他の諸問題

- 非密封放射性核種による治療の詳細についての記録は、病院に保管し、書面での注意の指示とともに患者に渡すべきである。
- 死亡前の最後の数箇月に非密封放射性核種で放射線治療を受けた患者が死亡した場合には、国内の規則に従い、どのような注意が必要かを定めるため、放射線防護の専門家又は患者を治療した病院に問い合わせることが望ましい。
- 非密封放射性核種による治療の多くは、妊娠した女性に対して禁忌である。
- 女性は放射性核種による治療後のある一定期間は妊娠すべきでない。その期間は治療の種類に依存し、また体内から放射性核種が除去され、かつ本来の疾患が確実に制御されていることと関係する。

13.1. 記 録

(159) 非密封放射性核種による治療後に病院から解放する際、放射性核種、物理・化学形、投与された放射能の量、及び治療した医師の名前と電話番号の書かれた詳細（例えば紙入れに入る大きさのカード）を、全ての患者に渡すべきである。さらに、患者には書面で放射線安全についての注意と、それらの注意をいつ終了することができるかに関する情報を与えるべきである。そのようなカードの例を付録 C に示す。

13.2. 死亡、剖検、埋葬及び火葬

(160) 患者が放射性核種による治療を受けたことを示す情報を書面で発行することは一般的な慣行であるが、緊急時や死亡の場合に、患者がいつもそれを所持しているとは想定できない。

(161) 800 MBq の放射性ヨウ素を投与された患者の剖検における実測結果が Denman と Martin (2001) によって報告された。病状が末期だった患者は放射性ヨウ素の投与 3 日後に死亡し、剖検は 2 週間延期された。病理学者は、最大で 400 μ Sv の全身線量を受けたものと推定された。汚染の測定結果は以下のものであった：病理学者の手 5 Bq/cm²；タオル 1.8 Bq/cm²；鋸 5 Bq/cm²；器具類 0.5 Bq/cm²；プラスチックシート 0.8 Bq/cm²；定規 0.4 Bq/cm²；床と壁 1.1 Bq/cm²。

(162) 甲状腺がんで放射性ヨウ素治療を受けた患者の剖検に関する少なくとも 2 つの報告がある。1 人の患者は転移性の甲状腺がんに対して 1850 MBq の放射性ヨウ素を投与された (Parthasarathy ら, 1982)。患者は治療 7 日後に死亡し、尿中にはごくわずかな放射性ヨウ素

が排泄されていた。死亡後の線量のレベルは、体表面から 10 cm で 0.1 から 0.5 mGy/h の範囲であった。個人の線量を少なくするために、数人の病理学者が剖検を実施した。最も被ばくした病理学者は全身に 220 μ Sv、手に 5.5 mSv の線量を受けた。

(163) 2 番目の報告は、7.4 GBq のヨウ素 131 を投与された患者の剖検に関するものである。患者は治療の 10 日後に死亡し、遺体の中には 1.85 GBq が残存していた (Johnston ら, 1979)。このような患者の大部分の排出曲線からは、残留放射能はもっと少なく予測されたであろう。不十分な水分補給が腎機能が、通常の排出率を妨げたのかもしれない。胸部体表面で測定された線量率は約 0.6 mSv/h であった。適切な放射線防護に関する注意と、制限時間を最大 90 分とすることで、病理学者の測定線量はポケット電離箱で約 0.2 mGy、手はそのおよそ 3 倍であった。

(164) 死体の安全取扱いについてのガイダンスは少ししかない。オーストラリアの実施規定 (National Health and Medical Research Council, 1987) には、以下のような情報がある：『経口、経静脈及び腔内経由で投与された放射性物質は、人体の全体に分布するか、あるいは特定の臓器に選択的に保持されることがある。患者が与える可能性のある危険の程度は、放射性物質を投与されてからの経過時間とともに減少する。この減少の一部は、使用された物質の放射能の通常減衰に、また一部はその物質の体内からの排泄による。診断目的あるいはトレーサ試験のためにごく少量の放射性物質を投与された患者は、死体に付き添うように求められたいかなる人に対しても特に危険はなく、それ以上考慮する必要はない。』剖検に関しては、その規定は以下のように述べている。『死体の放射能が以下のいずれよりも少ないならば：

150 MBq：ラドン 222, イットリウム 90 コロイド又は金 198；

300 MBq：リン 32；

450 MBq：ヨウ素 131, 密封されたイットリウム 90 又は金 198；

そのような検査が同じ施設で頻繁に行われないう限り、剖検の間に通常守られる手法はその検査に対して適切である。放射能が上記の値より高い場合、又は上記の放射能の剖検が同じ施設で頻繁に行われる場合には、病理学者は放射線安全管理者に相談するよう勧める』。さらに、オーストラリアの実施規定 (National Health and Medical Research Council, 1987) は、治療に使用された放射性物質が特定の臓器に選択的に吸収される場合 (例えば甲状腺中のヨウ素 131) には、剖検に着手する前にその臓器を除去して、作業区域から除くべきである、と述べている。それは死体と一緒に後で処分してよい。放射性物質が特定の体液中に分布している場合には、剖検が進行する前に適切な器材を使用して体液を排出すべきであり、その体液は法令上の要件に従って下水道を経由して安全に処分してよい。

(165) 死体の埋葬について、オーストラリアの実施規定 (National Health and Medical Research Council, 1987) は、以下のように述べている：『死体防腐処理なしの直接の埋葬の場合には、特別な注意は通常必要ない。放射能が前述のレベルを超えない場合には、死体防腐処理のための特別な注意は必要ない。放射能がより高い場合には、通常は死体に防腐処理を施すべきではないが、死体防腐処理が必要な場合には、放射線安全管理者の意見を聞くべきである。』

(166) 火葬に対しては、オーストラリアの実施規定 (National Health and Medical Research Council, 1987) によると、死体がイットリウム 90, ヨウ素 131, 金 198, ヨウ素 125 又はラドン 222 を 1000 MBq 以上, リン 32 を 400 MBq 以上含まなければ, 特別な注意は必要でない。これらのレベル以上を含む死体は, これらの限度値に達するまで保管すべきである。

(167) ヨウ素 131 治療後の火葬及び/又は埋葬に関する英国の規則は, 放射能が 400 MBq 以上であるべきでないと述べている (NRPB, 1988)。もっと最近のガイダンスでも 400 MBq を確認しているが, もし放射エネルギーが 400 MBq を超える場合, それでも埋葬又は火葬はできるけれども, 放射線防護アドバイザーに助言を求めるべきであると述べている (NRPB, 2000)。

(168) スウェーデンの規則はオーストラリアのものと非常に類似している。スウェーデンの規則によると, 放射線防護測定なしで剖検を行うことができる最大の放射エネルギーは, ヨウ素 131 で 600 MBq, リン 32 で 400 MBq, イットリウム 90 で 200 MBq である。放射線防護措置なしの火葬については, ヨウ素 131 は 1200 MBq, リン 32 は 400 MBq, イットリウム 90 は 1200 MBq を超えてはならない (Swedish Radiation Protection Institute, 2000)。

(169) 日本など数箇国では, 土葬よりも火葬がずっと一般的である。その結果として, 環境への潜在的な放射性核種の放出に関する大きな懸念がある。UNSCEAR (2000) は, 1991 年から 1996 年の間に, ヨウ素 131 による甲状腺がんの治療が 1000 人につき 0.0073 人, ヨウ素 131 による甲状腺機能亢進症の治療が 1000 人につき 0.023 人に行われたと報告した。人口がその時点で約 1 億 1000 万であったと仮定すると, 約 2300 人の甲状腺機能亢進症患者と 730 人のがん患者が, 毎年治療を受けたことになる。これらの患者の 1% 以上 (約 30 人の患者) が治療の 2, 3 週間以内に死亡することはありそうもないため, 公衆に対して潜在的に放出される放射性ヨウ素の量は非常に少ないものと思われる。

(170) 骨転移の疼痛緩和のために使用される放射性核種は半減期が比較的に長いので, 骨親和性のある放射性核種を含む死体の火葬はもっと大きな問題である (Aerts, 2000)。余命が 3 箇月未満の場合には通常この治療は行われませんが, もし患者がそれ以前に死亡した場合には, ストロンチウム 89 の放射エネルギーが 1 MBq まで減衰するのに 1 年もかかることがある。50.5 日の物理的半減期があると, 死体の保管は現実的でない。オーストラリアにおける数件の火葬に関する研究では, 全量ではないが放射エネルギーはほとんど骨粉中に残存することが示されている。骨灰に対する遺族の意向にもよるが, 地方条例に従うためには保管が必要かもしれない。米国では, 特定の火葬場で 7400 MBq/年の制限があるヨウ素 131 以外の全ての放射性核種について, 死体に含まれる放射エネルギーが 74 MBq 以下ならば, 火葬に関して問題はない (Silberstein ら, 2003)。

(171) 最近, ある葬儀屋の要求に関連したおもしろい逸話めいた議論があった。2.6 mm の鉛で内張りされた棺は 1000 kg 以上の重さがあり, これは多くの点から実際的でないと指摘されたのである (Osborn ら, 2002)。甲状腺がんで放射性ヨウ素治療を受けた患者が死亡し, 1.6 mm の薄い板鋼で内張りされた棺に安置されたという報告が少なくとも一つある。死体の胸部表面で測定された線量率は 0.6 mSv/h, 棺に安置した後の線量率は棺の表面で 0.5 mSv/h であり, ほとんど遮蔽効果を示さなかった。

13.3. 授 乳

(172) 多くの放射性医薬品は母乳を介して乳児に移行しうるので、多くの検査室は全ての女性に授乳を行っているかどうかをたずねている。ほとんどの核医学研究の場合、少なくとも短期間は授乳を止めることが勧告されている。治療量の放射性ヨウ素を投与された後には、授乳を完全に中止すべきである。中止しないと、乳児は永久的に甲状腺機能低下となるか、後で甲状腺がんのリスクが高くなるかもしれない。授乳の結果としての乳児の線量を表 13.1 に示す。

(173) 女性が放射性ヨウ素治療を受ける数週間前に授乳をやめることは有益かもしれない。その利点は、乳腺が母乳の生産を止め、乳房組織の線量が減り、規則不履行の危険がなくなり、そしてブラジャーや胸部バインダーの汚染が問題とならなくなることである。

表 13.1. ヨウ素 131 を一回内服した母親の授乳に起因する乳児の線量 (Sv/Bq)

内服した時期	実効線量
妊娠前 26 週	0
妊娠 5 週	0
妊娠 15 週	3.4 E-16
妊娠 35 週	1.3 E-10
出産 1 日後	5.4 E-08
出産 10 日後	5.4 E-08
出産 20 日後	5.4 E-08

出典：母乳中の放射性核種の経口摂取による乳児の線量に関する ICRP 第 2 専門委員会課題グループの報告書原稿。

13.4. 妊 婦

(174) 2000 年に ICRP は妊娠と職業放射線に関連した問題についての文書を刊行し、『胎児の線量限度は概して一般公衆のそれと同じである』ことを示した (ICRP, 2000)。また、妊娠が申告された後、受胎産物に対する線量は妊娠の残りの期間に約 1 mGy を超えるべきではないとも述べている。

(175) ヨウ素 131 とリン 32 を含むある種の放射性医薬品は胎盤を急速に通過しうするため、治療目的又は甲状腺がんのヨウ素 131 による全身スキャンのためにそれらの放射性核種が投与される前に、妊娠の可能性を十分慎重に考慮すべきである。一般に放射性核種による治療が救命に必要でない限り、妊婦は放射性物質を用いた治療を受けるべきでない。救命のような非常にまれな場合には、胎児に対する潜在的な吸収線量とリスクを推定して、患者と依頼医に伝えるべきである。妊娠の中絶を考慮に含めることもある。

(176) 女性では、15歳から45歳の間の年齢において、甲状腺がんは頭頸部がんの80%以上を占めている。甲状腺がんは大部分の他のがんと比べて比較的非侵襲性である。そのため、手術及び放射性ヨウ素による治療を妊娠の後まで延期することがしばしばある。妊娠中に治療が必要ならば、一般に妊娠の第2期(*第2三箇月)か第3期(*第3三箇月)の間に行われることになる。

(177) 放射性ヨウ素は容易に胎盤を通過することができる。また胎児の甲状腺は妊娠約10週齢でヨウ素を蓄積し始める。妊娠が分かっている患者には、放射性ヨウ素治療は基本的に禁忌である。甲状腺がんの放射性ヨウ素治療が必要ならば、治療は分娩後まで延期すべきである。治療を行うのならば、医師は放射性ヨウ素が母乳中に排出されることを知っているべきであり、治療量の投与の後には授乳を完全に止めさせるべきである。

(178) 妊娠していると思われない女性が甲状腺がんの治療を受け、放射性ヨウ素を投与された後に妊娠していることが判明したときには、重大な問題が起こる。月経歴は、患者が妊娠していないことの確認にはしばしば適切ではない。大部分の先進諸国では、以前に卵管結紮術又は子宮摘出の明白な病歴がない限り、妊娠可能な年齢の女性に対しては高用量のヨウ素131 スキャンニング又は治療を行う前に妊娠検査を行うのは一般的な慣行である。それにもかかわらず、既往歴の間違ひのため、あるいは妊娠試験がまだ陽性でないような初期であるために、妊婦が治療を受けることがある。

(179) 最も一般的には、妊娠が初期で、重大な問題は母親の膀胱中の放射性ヨウ素から放出されたガンマ線による胎児の全身線量である。妊娠中、受胎産物に対する全身線量は、投与放射能1 MBq 当たり50-100 μ Gy の範囲にある。母親が経口摂取した放射性ヨウ素131 から胎及び胎児への線量は、表13.2に示されている。

(180) 患者に水分を経口摂取させ、頻繁に排尿させることで、この線量を減らすことができる。妊娠しているかどうかに関係なく、これは全ての患者に共通に推奨される。

表 13.2. 妊娠中ならびに妊娠後の母親のヨウ素 131 急性摂取による、子供に対する線量係数(Sv/Bq)

時間 (週) ^a	最大被ばく 臓器	最大臓器線量	子宮内実効 線量	出生後の実効 線量	子供への全実 効線量
-130	—	<1 E-15	<1 E-15	<1 E-15	<1 E-15
-26	—	<1 E-15	<1 E-15	<1 E-15	<1 E-15
受胎時	全て	7.8 E-11	7.8 E-11	<1 E-15	7.8 E-11
5	甲状腺	2.4 E-11	8.1 E-11	<1 E-15	8.1 E-11
10	甲状腺	3.2 E-09	2.1 E-10	<1 E-15	2.1 E-10
15	甲状腺	2.4 E-07	1.2 E-08	4.3 E-15	1.2 E-08
25	甲状腺	6.8 E-07	3.4 E-08	3.3 E-12	3.4 E-08
35	甲状腺	1.1 E-06	5.5 E-08	5.3 E-09	6.0 E-08

出典：International Commission on Radiological Protection, (2002)。

^a 表示した時期(週)に摂取；マイナスの時間は妊娠前であることを示す。

(181) 受胎産物が8週齢以上（そして、胎児の甲状腺がヨウ素を蓄積できるようになる時点）で、ヨウ素の投与から12時間以内に妊娠が見つかったならば、60–130 mgの安定ヨウ化カリウムを母親に投与することで胎児の甲状腺は部分的にブロックされ、甲状腺線量は減るであろう。放射性ヨウ素投与の12時間以後では、この介入はあまり効果的でない。

(182) 母親の甲状腺機能亢進症は妊娠中に起こりうる。診断は、放射性ヨウ素の取り込み検査又は甲状腺シンチグラフィよりも、むしろ血清ホルモンの定量にもとづいて行うことができる。治療はしばしば分娩後まで延期できるし、また患者は妊娠中には内服薬を用いた治療を受けることができる。繰り返すが、重大な問題は、放射性ヨウ素の治療量を投与された後に患者が妊娠していることを発見した場合である。

(183) 放射性ヨウ素で治療された患者は、妊娠している近親者に対する外部線源になりうる。おそらくさらに重要なのは、これらの患者が直接的な接触や間接的な方法で、妊娠している近親者へ放射性ヨウ素汚染を移さないように注意しなければならない、ということである。

13.5. 放射性核種による治療後の妊娠

(184) 核医学検査又は治療後に妊娠することの妥当性について、質問が出るのがしばしばある。大部分の女性患者は、放射性ヨウ素による治療後、少なくとも6箇月間は妊娠しないように助言される。これは主として潜在的な遺伝性の放射線影響又は放射線防護の考慮自体にもとづいているのではなく、以下のことを確かめる必要にもとづいている：(1) 甲状腺機能亢進症又はがんが制御されていること；及び(2) 患者が妊娠したとき、放射性ヨウ素による再治療が必要でないこと。

(185) 治療にはリン32、ストロンチウム89及びMIBGが時折使われる。胎児への線量を1 mGy以下に保つためには、それぞれ3箇月、24箇月、及び3箇月の間は妊娠を避けるべきである。ICRPは、残留する放射性核種からの潜在的な胎児線量が1 mGyを下回るまで、女性は妊娠すべきでないと勧告する。これは、放射性ヨウ素治療又は鉄59（代謝研究を目的とする）あるいはセレン75（副腎イメージングを目的とする）で標識した放射性医薬品以外の場合には、通常考慮すべきことではない。これらの放射性核種の物理的半減期は長く、体内における滞留時間が長いため、それぞれ6箇月及び12箇月間は妊娠を避けるよう勧告する。英国における助言を表13.3に示す（Administration of Radioactive Substances Advisory Committee, 2000）。

表 13.3. 胎児の線量が 1 mGy を超えないことを確実にする，放射性核種治療後に妊娠を避ける期間

核種と物理・化学形	治療対象	最大放射能 (MBq)	妊娠回避期間 (月)
^{198}Au コロイド	悪性疾患	10,000	2
^{131}I ヨウ化ナトリウム	甲状腺機能亢進症	800	4
^{131}I ヨウ化ナトリウム	甲状腺がん	6000	4
^{131}I -MIBG	褐色細胞腫	7500	3
^{32}P リン酸塩	真性多血症, 等	200	3
^{89}Sr 塩化物	骨転移	150	24
^{90}Y コロイド	関節炎	400	0
^{90}Y コロイド	悪性疾患	4000	1
^{169}Er コロイド	関節炎	400	0

出典：Administration of Radioactive Substances Advisory Committee, (2000)。

付録 A. 甲状腺機能亢進症の患者情報シートの見本

甲状腺機能亢進症に対する放射性ヨウ素治療

質問と回答

私はなぜ治療が必要なのですか？

あなたは、甲状腺機能亢進症という病気です。これは、あなたの甲状腺が活発に活動しすぎていることを意味しています。もし、適切に治療されない場合、将来、あなたの健康に影響を与える可能性があります。

放射性ヨウ素治療とはどういうものですか？

放射性ヨウ素治療は、ヨウ素の一種で放射性のものを使用します。ヨウ素は甲状腺に取り込まれるので、ほんの少量の放射能が必要なだけです。あなたの主治医は、あなたにとってこれが最良の治療であると考えています。

放射能はどこに行くのですか？

大部分のヨウ素は、甲状腺に取り込まれます。残りのヨウ素は、主に尿に排泄されてあなたの体から出て行きます。

ヨウ素はどのように投与されるのですか？

放射性ヨウ素は無色で味もしません。あなたは、放射性ヨウ素を含んでいる液体またはカプセルを飲むように言われます。

なにか副作用はありますか？

軽い副作用（例えば喉の痛み）が、治療と関連して起こるかもしれません。

私の内服薬はどうすればいいのですか？

あなたの病院の医師は、あなたが服用している内服薬について指示をしたのではないのでしょうか。

放射性ヨウ素治療は安全ですか？

放射性ヨウ素は、甲状腺機能亢進症の治療に40年以上使われています。この方法で治療された患者さんは、注意深く研究されてきました。この治療法は、安全で効果的と考えられています。

将来子供を産む時に何か他にリスクはありますか？

放射性ヨウ素治療を行った患者さんの子供の健康に対する影響はありません。しかし、あなたが放射性ヨウ素治療をもう一度必要とする場合に備えて、私たちはあなたに放射性ヨウ素治療の後、数箇月間は妊娠と授乳を避けるようお願いします。

他人に対するリスクはありますか？

いいえ。あなたが医師から与えられた放射線についての注意を守れば、何もありません。あ

あなたは、治療を受ける時にいくつか簡単な注意を受けるでしょう。これらは、他人の不必要な被ばくを回避するためのものです。他の人たちにも、被ばくのリスクを知らせる必要があるかもしれません。

私は放射性ヨウ素治療後、医師に診てもらう必要がありますか？

あなたは治療後に医師の診察を受け、血液検査をしてもらいます。この検査は、あなたの甲状腺がどのように反応したかを調べるためです。放射性ヨウ素が効果を現すには、2-3 箇月かかります。

私は放射性ヨウ素治療が何回必要ですか？

場合によっては、2 回または3 回の治療が必要になります。あなたの初回治療の後の血液検査で、更に治療が必要かどうかわかります。

何か長期間の影響はありますか？

放射性ヨウ素治療は、非常に安全です。しかし、あなたの甲状腺は治療後におそらく機能低下になるでしょう。これは2,3 箇月以内のこともあるし、何年もかかるかもしれません。そのような理由で、あなたの甲状腺機能を調べる血液検査は重要であり、生涯定期的に行うべきです。あなたの甲状腺が機能低下となった場合には、サイロキシンによる治療を始めます。これは副作用がなく、1 日 1 回、内服するだけです。

私たちは、治療がどのようなものかをあなたに理解してもらいたいです。他に何か質問がある場合には、治療のために来院した際に質問してください。その時あなたは、あなたのご心配について私たちと話し合う機会を持つことができますでしょう。

付録 B. 放射性ヨウ素の治療投与後における放射線防護の指導の見本

約1週間続けること

出典：European Commission (1998)。

直後

放射性ヨウ素の内服後1時間は何も食べないこと。4時間以内に嘔吐する場合には、廃棄物容器の中に吐くようにし、直ちに核医学部門に知らせること。

旅行

可能ならば公共交通機関は避けること。やむを得ない場合には、公共交通機関での旅行は約2時間に制限すること。近親者または介護者と長時間の旅行（6時間以上）をしてはいけない。他の人から少なくとも1m離れて座ること。

自宅で

長時間の身体的接触を避けること。常に1m以上、長時間の場合には2m以上、自宅では誰からも可能な限り離れること。1日6時間以上いかなる人の1m以内にもいないこと。

別のベッドで、そして可能ならば別の寝室で就寝すること。

飲料をたくさん摂ること。

他人と食物又は飲料を分け合わないこと。ひとによっては使い捨ての皿や用具の使用を勧めるが、これは必要ではなく、埋立ての際に問題となることがある。単に食器をよく洗って、それらを再利用するのがよい。

キスや性交は避けること。

可能ならば毎日、そうでなければ特に最初の2日間はシャワーを浴びること。使用後にシャワーや浴槽をよく洗うこと。

あなたの衣類と寝具は他の洗濯物とは別に洗うこと。

可能ならば、バスルームを1人で利用すること。排尿するときには（男性も含めて）腰掛けること。陰部を乾かすにはトイレットペーパーを用い、トイレに流すこと。手はよく洗うこと（可能ならば化粧室の中で）。タオル、手ぬぐい及び歯ブラシは家族とは別のものを使用すること。

乳幼児，小児および妊婦

乳幼児がいる場合には、他の人がその世話をするのが最良である。それが不可能な場合には、乳幼児をあなたに近づけすぎてはならない（例えば、あなたの膝の上で最小限の時間以上に寝たり座ったりすること）。

小児と妊婦の訪問は止めさせるべきである。やむを得ない場合は、接触を最小限にし、小児と妊婦からの距離を最大限にすること。

放射性ヨウ素を移行させ、あなたの子供に不必要なリスクを及ぼす可能性があるため、2-3

週間はあなたの乳幼児または子供にキスするのを避けることは非常に重要である。

授乳

もしあなたが乳児に授乳しているのであれば、放射性ヨウ素治療の前に、授乳をやめなければならぬ。

高齢のパートナー

60歳以上の人々にとって、放射線による損害のリスクは小さいため、これらの方策のうち受け入れやすいものだけを奨励すべきである。

社会的な行事

映画館や他の社会的な行事など、数時間にわたり他人と密に接する場所の訪問は避けるべきである。

職場復帰

患者は、治療後少なくとも2日間は職場復帰すべきでない。その後、他人と近距離で接触しない場合には、あなたは職場復帰してよい。他人と近距離で接触する場合でも、1週間後なら充分であろうが、他人の食物を準備する仕事や小児や妊婦と一緒にいる仕事の場合には、数週間休職する必要があるかもしれない。あなたがどのくらいの期間休職する必要があるかについては、医師に尋ねること。

緊急事態

あなたが交通事故や医学的な緊急事態に巻き込まれたときには、あなたが受けた放射性核種による治療の日時、種類及び量を医療従事者に知らせること。

妊娠

放射性ヨウ素治療を受けた時には気がつかず、現在あなたが妊娠していると思う場合には、直ちに医師に知らせること。甲状腺機能亢進症または甲状腺がんの治療に対する放射性ヨウ素治療の後、どれくらい待てば妊娠してよいかについて、医師と相談すること。通常4-6箇月間は妊娠を避けるべきである。

付録 C. 放射性核種治療を受けた患者用のカードの見本

核種：	ヨウ素 131
放射能	MBq
投与日	/ /

放射性核種使用患者の情報

氏名：
住所：
患者番号：
病院名
相談員：

2 ページ目に記されている最後の日付までこのカードを
常に携帯してください

ご不明の点は下記にご連絡ください。

電話

または 1 ページに記されている相談員

治療後 24 時間以内に嘔吐や尿失禁をした際には病院にご連絡
ください。

1) ここに書かれている日までは小児と妊婦の近くには絶対
に行かないでください：

2) ここに書かれている日までは長時間にわたって小児と妊婦
の近くに行ってはいけません：

3) ここに書かれている日までは家庭で長時間にわたる接触を
避けて下さい：

4) ここに書かれている日までは家庭以外で他人と長時間にわ
たる接触を避けて下さい：

5) ここに書かれている日に職場復帰できます：

6) ここに書かれている日までは成人と一緒に就寝してはいけ
ません：

署名

(医師)

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 Radionuclides 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 guidelines 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 outpatients 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) Does significant 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 treated patients: an editorial. 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-patients – the contamination hazard. Br. J. Radiol. 43, 479–483.
- Buettner, C., Surks, M. (2003) Police detainment of a patient following treatment with radioactive iodine. JAMA 288, 2687–2688.
- 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 ¹³¹Iodine in outpatients: a simplified method of conforming to the Code of Federal Regulations, Title 10 Part 35.75. J. Nucl. Med. 41, 1868–1875.
- 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, 1876–1878.
- Denman, A.R., Martin, S. (2001) Care of a terminally ill patient following a thyroid ablation dose of ¹³¹I sodium iodide. Br. J. Radiol. 74, 1077–1078.
- Dickman, P., Holm, L., Lundell, G., Boice, J., Hall, P. (2003) Thyroid cancer risk after thyroid examination with 131I: 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, 1129–1132.
- 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 Inpatients)*. European Commission, Luxembourg.
- European Thyroid Association (1996) ^{131}I Therapy for hyperthyroidism towards 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 Na ^{131}I and meta (^{131}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}I sodium iodide. *Br. J. Radiol.* 73, 1209–1212.
- Gunsekera, R., Thompson, W.H., Harding, L.K. (1996) Use of public transport by ^{131}I therapy outpatients. *Nucl. Med. Commun.* 17, 275.
- Hanscheid, H., Lassmann, M., Reiners, C.H.R., Aulbach, F. (2003) Monitoring of ^{131}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}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}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 radio pharmaceuticals. 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., Toerোক, 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 ¹³¹I 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, 1091–1097.
- Leung, P.M., Nikolic, M. (1998) Disposal of 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 ¹³¹I treatment. Lancet 350, 1074–1075.
- 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, 706–7111.
- 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, 1368–1376.
- 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, 1205–1207.
- Nishizawa, K., Ohara, K., Ohshima, M., et al. (1980) Monitoring of I excretions and used materials of patients treated with ^{131}I . *Health Phys.* 38, 467–481.
- Nuclear Energy Agency (1995) The Environmental and Ethical Basis of Geological 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 ^{131}I therapy for hyperthyroidism. *Nucl. Med. Commun.* 14, 160–168.
- Oliverau, M., LaRoche, G. (1965) Effects of low iodine intake or destructive doses of iodine-131 on pituitary histochemistry of young Chinook salmon. *Am. Zool.* 5, 234.
- Oliverau, M. (1957) Radiothyroidectomie chez l'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 131 iodide. *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}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-B1 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.), 251P.
- 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, 1241–1244.
- Siegel, J.A., Kroll, S., Regan, D., et al. (2002b) A practical 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.
- 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}I in their home. *Nuklearmedizin* 37, 113–119.

ICRP Publication 94

非密封放射性核種による治療を受けた患者の解放

2007年 5月31日 初版発行

翻 訳 社 団
及 び 法 人 日 本 ア イ ソ ト ー プ 協 会
発 行

〒113-8941 東京都文京区本駒込二丁目28番45号

電 話 代 表 (03) 5395-8021

出 版 (03) 5395-8082

E-mail : syuppan@jrias.or.jp

協 会 HP : <http://www.jrias.or.jp>

発 売 所 丸 善 株 式 会 社

©Japan Radioisotope Association, 2007 Printed in Japan

印刷・製本 (株) 恵友社

ISBN978-4-89073-187-9 C3340

ICRP Publication 94 ‘Release of patients after therapy with unsealed radionuclides’

「ICRP Publ.94 非密封放射性核種による治療を受けた患者の解放」の正誤表 v2

原著の正誤表が更新されました。それに伴い、日本語版での要修正箇所をお知らせします。

日本語版での ページ：項	行	誤	正
x: 構成員の表	最終行	W. Yin	E. Vañó, W. Yin
xi: 要点	4 番目の●	17 日	1 - 7 日
14: 表 6.2	表頭	1 日	0 日
同	表頭	24 日	2 - 4 日
同	表頭	57 日	5 - 7 日
同	表頭	811 日	8 - 11 日
15: 50 項	1 行	200 及び 600 MBq	200 - 600 MBq
19: 69 項	1 行～2 行	4.3×10^{-7}	3.7×10^{-6}
同	3 行	1ml の唾液	0.1ml の唾液
同	3 行	約 2.4×10^{-2} Gy	約 2.1×10^{-2} Gy
同	3 行	すなわち 24mGy	すなわち 21mGy
43: 147 項つづき	5 行	3 m の距離	1 m の距離

2013 年 9 月現在（これまでの修正も含む）