

ICRP

Publication 117

画像診断部門以外で行われる X線透視ガイド下手技における放射線防護

公益社団法人
日本アイソトープ協会

画像診断部門以外で行われる X線透視ガイド下手技における放射線防護

2011年10月 主委員会により承認

公益社団法人
日本アイソトープ協会

ICRP

Publication 117

**Radiological Protection in Fluoroscopically Guided
Procedures Performed Outside the Imaging Department**

Editor

C.H. CLEMENT

Authors on behalf of ICRP

M.M. Rehani, O. Ciraj-Bjelac, E. Vañó, D.L. Miller, S. Walsh,
B.D. Giordano, J. Persliden

Copyright © 2017 The Japan Radioisotope Association. All Rights reserved.
Authorised translation from the English language edition published for
the International Commission on Radiological Protection by Elsevier Ltd.
Copyright © 2012 The International Commission on Radiological Protection
Published by Elsevier Ltd. All Rights reserved.

*No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or
transmitted in any form or by any means electronic, electrostatic, magnetic tape,
mechanical photocopying, recording or otherwise or republished in any form,
without permission in writing from the copyright owner.*



Japanese Translation Series of ICRP Publications
Publication 117

This translation was undertaken by the following colleagues.

Supervised by

Yoshiharu YONEKURA

Translated by

Mayuki UCHIYAMA

Editorial Board

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

working in close collaboration with Japanese ICRP & ICRU members.

◆ Committee members ◆

Ohtsura NIWA (Chair; ICRP, MC)	Keiko IMAMURA (Vice-chair)	
Reiko KANDA	Michiya SASAKI	Yasuhito SASAKI*
Gen SUZUKI	Michio YOSHIZAWA	

◆ Supervisors ◆

Nobuhiko BAN (ICRP, C1)	Nobuhito ISHIGURE* (ICRP, C2)
Akira ENDO (ICRP, C2)	Yoshiharu YONEKURA (ICRP, C3)
Michiaki KAI (ICRP, C4)	Toshimitsu HOMMA (ICRP, C4)
Kazuo SAKAI (ICRP, C5)	Hideo TATSUZAKI† (ICRU)

* Former ICRP member. † Former ICRU member.

邦訳版への序

本書は ICRP の主委員会によって 2011 年 10 月に承認され 2012 年に刊行された、画像診断部門以外で行われる X 線透視ガイド下手技における放射線防護に関する専門的助言

Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures
Performed Outside the Imaging Department
(Publication 117. *Annals of the ICRP*, Vol. 40, No.6 (2010))

を、ICRP の了解のもとに翻訳したものである。

翻訳は、東京慈恵会医科大学放射線医学講座の内山真幸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推敲を重ね、第 3 専門委員会の米倉義晴氏の監修をいただいて、最終稿を決定した。原著の記述に対する疑問は原著者に直接確認し、誤りと判明した場合は修正し、必要と思われた場合は訳注を付した。

X 線透視ガイド下手技は、広い分野の医師・医療関係者によって研究と創意工夫が蓄積され、患者に多大な恩恵を与えてきた。X 線透視を用いて体内深部の施術対象の位置を見極め、動きを把握しつつ精密な医療処置を進めていくというこの技術は、低侵襲性が特長のひとつであるが、難度の高い手技によっては、確認のための透視時間などが増加する傾向にある。放射線の被ばくは人体への侵襲の一種とも見ることができる。本書には被ばく低減について、身近な解決策から教育機関・諸学会に期待する取り組みなど、具体的な助言が詰まっている。本手技を患者と医療スタッフにとってより安全なものとして一層洗練させるため、役立つはずである。

本助言の必要性に共感して豊かな教育と臨床の経験を翻訳に注がれた内山氏、ならびに関係各位のご尽力に衷心の感謝を申し上げたい。委員会事情により刊行まで年月を経たが、本書が「放射線部門」以外の広範な診療科において放射線防護への覚醒に資することを願って送り出すものである。

平成 29 年 3 月

ICRP 勧告翻訳検討委員会

(公社)日本アイソトープ協会
ICRP 勧告翻訳検討委員会

委員長 丹羽 太貫 (ICRP 主委員会, (公財)放射線影響研究所)
副委員長 今村 恵子 (前 聖マリアンナ医科大学)
委員 神田 玲子 ((国)量子科学技術研究開発機構)
佐々木道也 ((一財)電力中央研究所)
佐々木康人 (湘南鎌倉総合病院附属臨床研究センター)
鈴木 元 (国際医療福祉大学クリニック)
吉澤 道夫 ((国)日本原子力研究開発機構)

監 修 者

伴 信彦 (ICRP 第 1 専門委員会, 原子力規制委員会)
石樽 信人 (前 ICRP 第 2 専門委員会, 名古屋大学)
遠藤 章 (ICRP 第 2 専門委員会, (国)日本原子力研究開発機構)
米倉 義晴 (ICRP 第 3 専門委員会, (国)量子科学技術研究開発機構)
甲斐 倫明 (ICRP 第 4 専門委員会, 大分県立看護科学大学)
本間 俊充 (ICRP 第 4 専門委員会, (国)日本原子力研究開発機構)
酒井 一夫 (ICRP 第 5 専門委員会, 東京医療保健大学)
立崎 英夫 (前 ICRU 委員, (国)量子科学技術研究開発機構)

抄 録

画像診断部門以外のところでX線透視装置を使用する専門医は増加の一途をたどっているが、画像診断部門以外で使用されているX線透視装置に対して放射線防護措置を講じることについては総じて軽視されてきた。画像診断部門以外でX線透視装置を使用する作業者に対する放射線防護訓練の欠如は作業者と患者の放射線リスクを高めるおそれがある。血管内動脈瘤修復術、腎動脈血管形成術、腸骨動脈血管形成術、尿管ステント留置術、内視鏡的逆行性胆管膵管造影法、胆管ステント留置・ドレナージ術などの手技は1 Gyを上回る皮膚線量を与える可能性がある。X線透視ガイド下手技に対する患者と従事者の組織反応は現在までのところ、IVRと心血管インターベンションでしか報告されていないが、画像診断部門以外でのX線透視使用レベルは、そうした損傷の可能性を生じさせている。

2章で電離放射線の健康への影響と防護原則の簡単な説明を行う。3章では従事者と患者のすべての人に共通する防護の一般的側面を扱っている。一方、4章では血管外科、泌尿器科、整形外科、産婦人科、消化器科および肝・胆道系、そして麻酔および疼痛管理における具体的な側面を取り上げている。センチネルリンパ節生検はX線透視ではなく放射性同位元素の使用を必要とするが、このテーマが今後数年のうちに別のICRP刊行物で取り上げられるとは考え難いため、手術室でのこの手技の実施についても本報告書で取り上げている。患者と従事者の放射線量レベルや線量管理に関する情報は専門科ごとに提示している。妊娠中の患者や妊娠中の従事者に関する問題は5章で取り上げている。ICRPは最近訓練についての報告書を刊行したが、訓練の方向性に関し訓練参加グループに対する具体的な要求、訓練を実施し専門家を評価する人々の適性、およびカリキュラムに関するガイドラインを6章に示している。

本報告書は、X線透視を使用する場合は常に患者の線量モニタリングが不可欠であることを強調している。

メーカーは、病院ネットワークへ転送できる患者線量報告を作成することができる患者線量インデックス表示システムを開発し、手術室でX線透視装置を使用する従事者の防護のために臨床的処置の妨げにならない効果的な遮蔽スクリーンを開発することが推奨される。

キーワード：放射線防護，X線透視，放射線，線量

参考文献

ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).

目 次

	頁	(項)
抄 録	(iii)	
論 説	(ix)	
序 文	(xi)	
要 点	(xiii)	
1. 本報告書作成の動機とは何か?	1	(1)
1.1 どのような手技に問題があり, どのような人が関係してくるのか?	1	(1)
1.2 どんな人が高い放射線量に被ばくする可能性があるのか?	2	(5)
1.3 放射線防護の訓練, 知識, 認識および技能の欠如	4	(6)
1.4 患者の放射線量と職業放射線量の比較	4	(7)
1.5 恐怖と過信	5	(10)
1.6 訓 練	6	(11)
1.7 なぜこの報告書を?	6	(12)
1.8 参考文献	7	
2. 電離放射線の健康への影響	9	(13)
2.1 緒 論	9	(13)
2.2 放射線被ばくが発生する状況	9	(14)
2.3 電離放射線の健康影響	10	(16)
2.3.1 組織反応	10	(17)
2.3.2 確率的影響	12	(21)
2.3.3 個人による放射線感受性の違い	13	(23)
2.4 参考文献	13	

3. 患者防護と職業被ばく防護	15	(25)
3.1 放射線防護の一般的な方法と原則	15	(25)
3.1.1 時 間	15	(26)
3.1.2 距 離	15	(27)
3.1.3 遮 蔽	15	(28)
3.1.4 正 当 化	16	(29)
3.1.5 最 適 化	16	(30)
3.2 施設の要件	16	(31)
3.3 患者の防護と職業被ばく防護の共通点	17	(32)
3.3.1 個々の患者固有の要因	17	(33)
3.3.2 個々の手技による要因	18	(34)
3.4 職業被ばく防護固有の側面	23	(47)
3.4.1 遮 蔽	23	(49)
3.4.2 個人モニタリング	25	(55)
3.4 参 考 文 献	27	
4. 臨床診療における固有な状況	29	(60)
4.1 血 管 手 術	29	(60)
4.1.1 放射線量レベル	30	(63)
4.1.2 放射線量管理	31	(70)
4.2 泌 尿 器 科	33	(76)
4.2.1 放射線量レベル	34	(80)
4.2.2 放射線量管理	36	(89)
4.3 整 形 外 科 手 術	38	(97)
4.3.1 放射線量レベル	40	(101)
4.3.2 放射線量管理	45	(117)
4.4 産 婦 人 科	49	(129)
4.4.1 放射線量レベル	50	(136)
4.4.2 放射線量管理	51	(141)
4.5 消 化 器 科 お よ び 肝 ・ 胆 道 系	52	(148)
4.5.1 放射線量レベル	53	(151)
4.5.2 放射線量管理	56	(160)

4.6 麻酔および疼痛管理	57 (168)
4.7 センチネルリンパ節生検	58 (172)
4.7.1 放射線量レベル	59 (176)
4.7.2 放射線量管理	59 (178)
4.8 参考文献	60
5. 妊娠と子ども	67 (183)
5.1 患者の被ばくと妊娠	67 (183)
5.2 妊娠可能年齢で放射線検査／手技を受ける患者に対するガイドライン	69 (191)
5.3 妊娠していることが判明している患者に対するガイドライン	70 (197)
5.4 職業被ばくと妊娠	70 (200)
5.5 小児における手技	71 (205)
5.5.1 放射線量レベル	72 (210)
5.5.2 放射線量管理	74 (214)
5.6 参考文献	75
6. 訓 練	77 (216)
6.1 緒 論	78 (216)
6.2 カリキュラム	78 (220)
6.3 誰が訓練を行うべきか？	79 (221)
6.4 どれくらいの訓練が必要か？	80 (223)
6.5 訓練に関する勧告	81 (227)
6.6 参考文献	81
7. 勧 告	83
付属書 A. 線量と単位	85 (A 1)
A.1 患者線量を評価するための数量	86 (A 9)
A.2 職業被ばく線量評価のための数量	87 (A 17)
A.3 参考文献	89

論 説

医療における放射線防護に関する ICRP 勧告

1928年にストックホルムで開催された第2回国際放射線医学会において国際X線およびラジウム防護委員会（IXRPC）が設立された。この委員会の最初の勧告（1928年7月27日に採用）は病院のX線およびラジウム科の作業者の防護を扱っている（ICR, 1929）。IXRPCは後に「国際放射線防護委員会」（ICRP）と改名した。このようにICRPは医療において放射線防護の必要性が認められたところから設立された。

今日ではICRPには5つの常設の専門委員会があり、第3専門委員会が医療における放射線防護を専門に取り組んでいる。第3専門委員会の範囲には医療被ばく（主として患者の）だけでなく、医療スタッフの職業被ばくと医療での放射線の使用から生じる公衆の被ばくも含まれる。

放射線防護のためのICRPの体系の最も新しい進展は *Publication 103*（ICRP, 2007 a）において述べられている。*Publication 105*（ICRP, 2007 b）ではこの体系をどのように医療における電離放射線の被ばくに適用するかについて詳しく述べられている。*Publication 105*以降、ICRP刊行物のおよそ3分の1は医療における放射線防護のより具体的な側面を直接取り扱っている。

- *Publication 106*：放射性医薬品による患者の放射線量（ICRP, 2008）
- *Publication 112*：新しい外部照射放射線治療技術による事故被ばくの子防（ICRP, 2009 a）*
- *Publication 113*：放射線診断およびIVRにおける放射線防護教育と訓練（ICRP, 2009 b）*
- *Publication 117*：画像診断部門以外で行われるX線透視ガイド下手技における放射線防護（本書）*
- *Publication 120*：心臓病学における放射線防護（ICRP, 2013）*
- *Publication 121*：小児科の放射線診断とIVRにおける放射線防護（ICRP, 2013）

*（訳注） *は邦訳版あり。刊行情報は翻訳刊行時点のものである。

他にも同じ一般的分野のいくつかのICRP刊行物が作成中である。こうしたことはすべて、医療における放射線防護が依然としてICRPにおいて高い優先順位を占めているという事実を示している。

上記の刊行物のいくつか、そしてここには挙げていない多くの過去のICRP刊行物は具体的な臨床状況に焦点を当てている。このようにガイダンスをまとめることにより、医療スタッフ

(x) 論 説

は自分の医療分野に関連する1冊のICRP刊行物だけ（または多くても数冊）を参照するだけで済ませることができる。

本書は、ある特定のX線透視ガイド下での手技に関連して新たに浮上してきたいくつかの放射線防護に関する問題に対処するために作成された。画像診断部門以外のところでのX線透視の使用が急速に増加している。場合によっては放射線防護上の対応が立ち遅れているところもあり、そのため医療スタッフと患者のリスクが高まっている。

さらに、インターベンショナルラジオロジー（IVR）と心血管インターベンションでX線透視を使用している医療従事者の一部に眼の水晶体混濁が検出されたことが最近報告された。これらの影響がここで見られるとすれば、画像診断部門以外のところでのX線透視により同じような影響が出る可能性は存在する。これまでのところ、これは電離放射線による職業被ばくが臨床的に観察可能な組織反応と因果関係のある可能性を示す唯一の症状のようである。

本刊行物では、十分な訓練の提供と適格性の評価、安全器具の提供とX線透視装置の品質管理に関するガイダンスを医療従事者と雇用者に提示する。またX線透視装置のメーカーに対してもガイダンスを示し、患者と医療従事者の安全を改善するために組み入れることが望まれる機能について提案している。すべてのICRP刊行物と同様に、本書は作業員（worker）¹⁾、患者および公衆構成員の安全を向上させることを目的としている。

ICRP 事務局長
CHRISTOPHER CLEMENT

参考文献

- ICR, 1929. International Recommendations for X-ray and Radium Protection. A Report of the Second International Congress of Radiology. P.A. Nordstedt & Söner, Stockholm, pp. 62-73.
- ICRP, 2007 a. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
- ICRP, 2007 b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37(6).
- ICRP, 2008. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. ICRP Publication 106. Ann. ICRP 38(1).
- ICRP, 2009 a. Preventing accidental exposures from new external beam radiation therapy technologies. ICRP Publication 112. Ann. ICRP 39(4).
- ICRP, 2009 b. Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures. ICRP Publication 113. Ann. ICRP 39(5).
- ICRP, 2013. Radiological protection in cardiology. ICRP Publication 120. Ann. ICRP 42(1).
- ICRP, forthcoming. Radiological protection in paediatric diagnostic and interventional radiology. Ann. ICRP.

1) 「作業員（worker）」という語は、*Publication 103*（ICRP, 2007）において「ある雇用主により、フルタイムであるか、パートタイムであるか、一時的であるかにかかわらず雇用されているすべての者であり、職業被ばく防護についての権利と義務を認識している者」と定義されている。本文書では、「作業員」と「スタッフ」の両方の用語を使用している。すなわち、上記の文脈では「作業員」を、「作業員」の使用が適切でないと思われる場合は「スタッフ」を使用している。

序 文

長年にわたり国際放射線防護委員会（ICRP）（以下「委員会」と記す）は、医療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発表してきた。*Publication 105*（ICRP, 2007 b）はこの分野における大綱である。これらの報告書は放射線防護の原則を要約し、医学や生物医学研究におけるさまざまな電離放射線の使用に対してこれらの原則を適用するにあたっての助言を提供している。

1997年9月の英国、オックスフォードでの主委員会の会議において、医療における放射線防護のテーマ別問題について報告書を作成する作業が開始された。これらの報告書は日常業務に直接関わる人々に理解できる文体で作成すべきであることや、そのような報告書が広く普及するようあらゆる努力を講じるべきであることが了解された。

そのような報告書がすでにいくつか刊行されている（*Publication 84, 85, 86, 87, 93, 94, 97, 98, 102, 105, 112, 113, Supporting Guidance 2*）（ICRP, 2000 a-d, 2001, 2004 a,b, 2005 a,b 2007 a,b, 2009 a,b）。

疾患を診断し治療するためにX線が使用されはじめてから1世紀以上が経過し、画像診断部門以外での使用の拡大が現在では過去のどの時点よりはるかに広く見られるようになった。

Publication 85（2000 b）において、委員会はインターベンション手技での放射線傷害をいかに避けるかについて取り組んだ。循環器専門医を対象とした別のICRP刊行物も間もなく刊行される（ICRP, 2013）。整形外科医、泌尿器科医、消化器科医、血管外科医、麻酔科医その他の医師が行う手技については、これらの医師が単独で行なった場合であれ放射線科専門医とともに行なった場合であれ、委員会のこれまでのICRP刊行物では取り扱われていない。しかし放射線の使用の増加と訓練の欠如という現状からすれば、この分野でのガイダンスに対する必要性は非常に大きいといえる。

本書はこの必要性を満たすことを目的としている。

課題グループのメンバーは以下のとおりであった。

M.M. Rehani（議長）

E. Vañó

B.D. Giordano

J. Persliden

(xii) 序 文

通信メンバーは以下の各氏である。

O. Ciraj-Bjelac

D.L. Miller

S. Walsh

さらに、ICRPの主委員会メンバーであるC. CousinsとJ. Leeは、クリティカル・レビュー者として重要な貢献を果たした。

本報告書作成期間中の第3専門委員会のメンバー構成は以下のとおりである。

E. Vañó (委員長)

H. Ringertz

S. Mattsson

M.R. Baeza

Y. Yonekura

K. Å. Riklund

L.T. Dauer

M.M. Rehani (書記)

M. Rosenstein

J.W. Hopewell

J.M. Cosset

B. Yue

P. Ortiz López

I. Gusev

D.L. Miller

P.-L. Khong

参考文献

- ICRP, 2000 a. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84. Ann. ICRP 30(1).
ICRP, 2000 b. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30(2).
ICRP, 2000 c. Prevention of accidental exposures to patients undergoing radiation therapy. ICRP Publication 86. Ann. ICRP 30(3).
ICRP, 2000 d. Managing patient dose in computed tomography. ICRP Publication 87. Ann. ICRP 30(4).
ICRP, 2001. Radiation and your patient: a guide for medical practitioners. ICRP Supporting Guidance 2. Ann. ICRP 31(4).
ICRP, 2004 a. Managing patient dose in digital radiology. ICRP Publication 93. Ann. ICRP 34(1).
ICRP, 2004 b. Release of patients after therapy with unsealed radionuclides. ICRP Publication 94. Ann. ICRP 34(2).
ICRP, 2005 a. Prevention of high-dose-rate brachytherapy accidents. ICRP Publication 97. Ann. ICRP 35(2).
ICRP, 2005 b. Radiation safety aspects of brachytherapy for prostate cancer using permanently implanted sources. ICRP Publication 98. Ann. ICRP 35(3).
ICRP, 2007 a. Managing patient dose in multi-detector computed tomography (MDCT). ICRP Publication 102. Ann. ICRP 37(1).
ICRP, 2007 b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37(6).
ICRP, 2009 a. Preventing accidental exposures from new external beam radiation therapy technologies. ICRP Publication 112. Ann. ICRP 39(4).
ICRP, 2009 b. Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures. ICRP Publication 113. Ann. ICRP 39(5).
ICRP, 2013. Radiological protection in cardiology. ICRP Publication 120. Ann. ICRP 42(1).

要 点

- 数多くの専門医が、画像診断部門以外でX線透視装置を使用しており、その使用の拡大は今日では過去のどの時点の拡大よりもはるかに大きい。
- 画像診断部門以外で使用されているX線透視装置に対する放射線防護措置の適用は総じて軽視されてきた。
- 画像診断部門以外でX線透視装置を使用している従事者に対する放射線防護訓練の欠如は、従事者と患者の放射線リスクを高めるおそれがある。
- X線透視手技に対する患者と従事者の組織反応は現在までのところ、IVRと心血管インターベンションでしか報告されていないが、画像診断部門以外でのX線透視使用レベルはそのような傷害の可能性を生じさせている。
- 血管内動脈瘤修復術、腎動脈血管形成術、腸骨動脈血管形成術、尿管ステント留置術、内視鏡的逆行性胆管膵管造影法、胆管ステント留置・ドレナージ術などの手技は、1 Gyを上回る皮膚線量を与える可能性がある。
- 患者と従事者の放射線の線量管理は、実効性のある放射線防護プログラムがあって初めて達成できる困難な作業である。
- X線透視を使用する場合は常に患者の線量モニタリングが不可欠である。
- 妊娠中の患者に医療用放射線を適用するにあたっては、その正当性を評価した上で胎児の線量を低減するよう調整すべきである。
- 胎児線量が < 100 mGy での妊娠の中絶は放射線リスクの観点からは正当化されない。
- 妊娠した従事者が妊娠を申告した後に胚／胎児の線量を 1 mSv に制限するということは、その従事者が放射線作業を完全に避ける必要があること、あるいは指定された放射線区域に立ち入って働くのをやめなければならないということを意味しない。
- 妊娠期間中胎児の線量が 1 mSv 以下に保たれるという合理的保証があるかぎり、妊娠中の医療従事者は放射線環境下で働くことができる。しかし、このことは雇用者が妊娠女性の被ばく状況を注意深く検討すべきであることを意味する。
- 患者の線量を低減するためのあらゆる措置は、それに対応する職業被ばく線量の低減効果を伴う。しかしその逆は必ずしも真ではない。
- X線透視装置を使用する従事者の眼に混濁が見られることが最近報告され、眼の放射線防護

(xiv) 要 点

措置を強化する必要性への関心が高まっている。

- 手術室でX線装置を使用する従事者を防護するため、可能なかぎり放射線遮蔽スクリーンを使用することが推奨される。
- 医療の専門家に対する放射線防護訓練プログラムは訓練参加者が関与する業務のタイプに合わせるべきである。
- ある従事者が特定の役割を果たす能力を有するかどうかは適切な能力を有する人々によって評価されるべきである。
- X線透視装置の定期的な品質管理検査によって、装置の安全性に対する信頼を確保することができる。
- メーカーは、病院ネットワークへ転送できる患者線量報告書を作成することができる患者の線量インデックスを示すシステムを開発すべきである。
- メーカーは、手術室でX線透視装置を使う従事者の防護のために臨床業務の妨げとならない遮蔽スクリーンを開発すべきである。

1. 本報告書作成の動機とは何か？

- 数多くの専門医が画像診断部門以外で X 線透視装置を使用しており，その使用の拡大は，今日では過去のどの時点よりもはるかに大きくなっている。
- 画像診断部門以外で使用されている X 線透視装置に対する放射線防護措置の適用は総じて軽視されてきた。
- 画像診断部門以外で X 線透視装置を使用している従事者*の放射線防護訓練の欠如が，従事者と患者の放射線リスクを高めるおそれがある。
- X 線透視装置を使用する従事者の眼に混濁が見られることが最近報告され，眼の放射線防護措置を強化する必要性への関心が高まっている。

1.1 どのような手技に問題があり，どのような人が関係してくるのか？

(1) 疾患を診断，治療するために X 線が使用されはじめてから 1 世紀以上が経過し，画像診断部門以外でのその使用は今日では過去のどの時点よりもはるかに広く見られるようになった。放射線科以外で X 線が最も広く使用されているのは主に心臓疾患診療におけるインターベンション手技であるが，それ以外にも内科的，外科的手技に X 線透視を使用する臨床専門分野は多い。

(2) *Publication 85* (ICRP, 2001) において，委員会は医学的なインターベンション手技による放射線傷害の回避に取り組んだ。循環器医を対象とした ICRP 刊行物も間もなく刊行される (ICRP, 2013)。整形外科医，泌尿器科医，消化器科医，血管外科医，麻酔科医（または麻酔専門医）その他の医師が行う手技はこれらの医師が単独で行なった場合であれ放射線科専門医とともに行なった場合であれ，委員会のこれまでの *Publication* では取り扱われていない。しかし，放射線の使用が拡大しておりその訓練が欠如しているという現状から見て，この分野でのガイダンスが大変必要とされている。放射線科医の役割と同様，手技も国によって大きく異なる。放射線手技において放射線科医が大きな役割を演じる国もある。これらの手技とそれに関与する専門医を表 1.1 に列挙する。ただしすべての専門医を網羅しているわけではない。

* (訳注) 原語は worker。わが国の放射線障害防止法では「放射線作業従事者」，医療法では「放射線診療従事者」とされており，本書では記載の臨床場面でなじみのある言葉として，おもに「従事者」と訳している。

2 1. 本報告書作成の動機とは何か？

(3) これらの手術・手技により専門医は患者を治療し、望ましい臨床目標を達成することが可能になる。これらの手技は多くの状況で侵襲性が低く、罹患率と死亡率を減少させ、費用を軽減でき、外科的手技より短期間の入院ですみ、切開外科手技を受けることができない場合では最善の選択肢となりうる。また状況によっては、特に非常に高齢の患者にとっては、これらの手技が唯一の選択肢となる場合もある。

(4) 画像診断部門以外での X 線透視手技に加えて、この報告書では X 線ではなく、放射性医薬品を放射線源として使用するセンチネルリンパ節生検 (SLNB) も取り上げている。このテーマは今後数年のあいだに別の ICRP 刊行物で取り上げられる可能性が低く、放射線防護の観点からも注意を必要としているため、この報告書でこれを取り上げることが適切であると考えられた。

1.2 どんな人が高い放射線量に被ばくする可能性があるのか？

(5) 放射線を毎日使用している診療科でフルタイムで働く人々にとって、放射線防護の訓練と自身の放射線被ばく線量をモニタリングすることが必要なことは、長年当然のことであった。これらの診療科には放射線治療科、核医学科、放射線診断科を含む。結果として多くの規制当局は、これらの施設を監督していれば放射線防護の責任を果たしているという考えを持っていた。多くの国では今もこうした状況にある。しかし、これらの診療科以外での診断手技あるいはインターベンション手技における X 線の使用が近年著しく増加している。X 線透視装置は従事者や患者に比較的高い被ばくを生じさせる可能性があるため、特に懸念される。規制当局が何台の X 線透視装置が画像診断部門の管理外にある手術室に存在するかまったく把握していない国も存在する。放射線治療施設の従事者は放射線源から離れて働くか、もし線源近くで働く場合には必ず線源を厳重に遮蔽する。その結果、通常の場合では放射線による職業被ばくは通常最小限にとどまる。たとえ核医学施設に常に放射線が存在するとしても、従事者の総被ばくは X 線管近くで働く人々の被ばくよりも少ないと考えられる。X 線管から出る放射線の強度は非常に高いからである。従事者が通常放射線源から離れて働き、X 線放射線源から遮蔽された操作室で作業するという点では画像撮影 [X 線撮影とコンピュータ断層撮影 (CT)] の状況は類似している。他方、X 線透視室で働くには、通常、従事者が X 線源 (X 線管自体と、散乱 X 線源となる患者の両方) の近くに立っていることが必要となる。X 線透視室における従事者の放射線被ばくは、放射線治療科または核医学科で働く人々や X 線透視装置を使わない画像診断の従事者の被ばくよりも高いと考えられる。実際の線量は X 線透視室 (X 線透視装置が使用されているとき) で過ごす時間、使用した遮蔽衣類 (鉛のエプロン、甲状腺保護具、眼の保護具)、使用されている移動式天井懸架スクリーンその他吊り下げ式鉛フラップ、および装置のパラメータに依存する。一般に放射線作業に費やす時間が同じ場合、X 線透視装置室内

表 1.1 画像診断部門内またはその外で行われる一般的な手技の例 (すべての手技を網羅しているわけではない) (NCRP, 2011 をもとに作成)

臓器または部位	手 技	臓器または部位	手 技
骨、関節または筋骨格 【専門科】 ●放射線科 ●整形外科 ●神経外科 ●麻酔科 ●神経科	骨折／脱臼整復 解剖学的位置決め、方向確認、固定を行うためのインプラント誘導 変形矯正 注入、吸引、生検のための針位置決め 切開位置を確認するための解剖学的位置決め 骨切除の適切性 異物の位置把握 生検 椎骨形成術 後湾形成術 塞栓形成 腫瘍除去 神経ブロック 診断 (同側大腿骨頸部／骨幹部骨折) 髄内釘固定 カーシュナー・ワイヤー／外部固定装置ピン定置 経皮的金具定置 靭帯再建 外傷 レベル確認 嚢胞吸引 高周波アブレーション 肢アラインメント／関節ラインの評価	腎臓と尿路 (続き)	排尿時尿路造影 尿道造影 経皮的腎砕石術 体外衝撃波砕石術 腎臓ステント挿入
		肝胆道系----- 【専門科】 ●放射線科 ●胃腸科	生検 経皮的胆汁ドレナージ 内視鏡的逆行性胆管膵管造影 経皮的胆嚢造瘻術 結石除去 ステント留置 経頸静脈の肝内門脈体循環シャント 化学塞栓術 腫瘍アブレーション 経皮的経肝胆管造影 胆管ドレナージ
		生殖管----- 【専門科】 ●放射線科 ●産婦人科	子宮卵管造影 塞栓形成 骨盤計測
消化管----- 【専門科】 ●放射線科 ●消化器科		血管系----- 【専門科】 ●放射線科 ●循環器科 ●血管外科 ●腎臓科	静脈造影 血管形成術 ステント留置 塞栓形成 ステントグラフト留置 静脈アクセス 下大静脈フィルタ留置 血管内動脈瘤修復
	経皮的胃瘻造設術 経皮的空腸造瘻術 生検 ステント留置 血管造影法 塞栓形成	中枢神経系----- 【専門科】 ●放射線科 ●神経外科 ●神経科	血管造影法 塞栓形成 血栓溶解
腎臓と尿路----- 【専門科】 ●放射線科 ●泌尿器科	生検 腎瘻形成 尿管ステント留置 結石除去 腫瘍アブレーション 静脈腎盂造影／尿路造影 膀胱内圧測定 膀胱造影	胸部----- 【専門科】 ●放射線科 ●血管外科 ●内科	生検 胸腔穿刺 胸ドレイン留置 肺血管造影法 肺塞栓形成 血栓溶解 腫瘍アブレーション

4 1. 本報告書作成の動機とは何か？

で働く従事者の放射線被ばく線量の方が他の部署で働く従事者の放射線被ばく線量よりも大きい。医療処置が長時間のX線透視または多数の撮像によって大量の放射線被ばくを必要とする場合、例えば血管手術ではこれらの従事者は相当な放射線量に被ばくするおそれがあり、したがって適切な訓練と防護具を使用して高度の放射線防護をする必要がある。血管外科医によるX線透視を使った合併症のない腹部または胸部大動脈瘤の血管内治療が増加しており、放射線被ばく量はIVRと心血管インターベンションの場合とほぼ同等である。今後数年間で内臓腹部大動脈や大動脈弓部と大血管に対する分岐ステントや有窓ステントなどの、より複雑な血管内デバイスの使用が増加すると思われる。これらの手技は長い時間を要し、かつ複雑である。また長時間にわたるX線透視での確認が必要となる。多くの場合、放射線の入射表面がX線管に対して固定された状態が長時間続き、そのため皮膚障害のリスクも高まる。麻酔科医による疼痛緩和のための画像ガイド下での注射も増加している。

1.3 放射線防護の訓練、知識、認識および技能の欠如

(6) 多くの国では放射線医以外の医療専門家が、放射線科医から直接支援を受けることなく、画像診断部門同様に血管造影撮影装置から移動式イメージ増倍管X線透視装置システムにいたるさまざまな装置を使ってX線透視を行なっている。ほとんどの場合、画像診断部門以外にあるX線透視装置を使用する医師（整形外科医、泌尿器科医、消化器科医、血管外科医、婦人科医、麻酔専門医、その他）は、最小限の放射線防護の訓練しか受けていないか、まったく受けていないかのいずれかであり、医学物理士などの放射線防護の訓練を受け、専門知識を実際に有している専門職者に日常的に接する機会がない場合も考えられる。放射線科または循環器科以外の施設で働いているレントゲン技師/放射線技師は、自身の施設で使用しているほんの1,2台の特定のX線透視装置にしか習熟していないことがある。このようにレントゲン技師/放射線技師の技術、知識、認識が限られている場合がある。これらの施設の看護師も、一般的には放射線防護の技術、知識、認識が限られている。これらの環境における放射線防護文化の欠如は、患者のリスクと職業被ばくのリスクを高めることとなる。

1.4 患者の放射線量と職業被ばく線量の比較

(7) 職業上の放射線防護は患者の放射線防護よりはるかに重要であると一般に考えられてきた。この通念の背景にある理由は次の通りである。(1) 従事者は職歴全体を通じて放射線を扱うと考えられる、(2) 患者は自己の利益のため放射線被ばくを受ける、(3) 患者が放射線に被ばくするのは医療目的であり、生涯で2,3回に過ぎない。最初の2つの理由はまだ有効であるが、3つ目の理由については近年状況が一変している。患者は何度も検査や手技を受けてい

る。さらに、患者が現在受けている検査のタイプは、数十年前に比べ線量が高くなっている。従来は検査の主流はX線撮影であった。近年ではCTが非常に一般的になっている。CTスキャンによって患者が受ける放射線量は、X線撮影の数百倍に相当する。従来、X線透視はおおむね診断目的であった。それに対し、現在ではX線透視ガイド下でのインターベンションが増加し、これらの手技によって高い放射線量を患者が受けている。患者1例あたりの高線量手技の使用頻度が増加していることが報告されている（NCRP, 2009）。従事者が職歴全体を通じて被ばくすると思われる標準的職業被ばく線量を上回る放射線量に、多くの患者が被ばくしている。

(8) 最新のUNSCEAR報告書によると、医療における職業被ばくの（世界全体での）1人当たりの年間平均線量は、0.5 mSv/年（UNSCEAR, 2010）である。45年間働いている人の場合、全就労期間を通じて総線量は22.5 mSvに達すると考えられる。上記の数字からも分かるように、過去100年間にわたり職業被ばく防護が強調されてきたことで優れた結果が得られており、職業被ばく線量はかなり制御されているように見える。しかし、この報告書で取り上げた国でも、個人モニタリングについてほとんど処置を講じていない例が多くで見られる。

(9) 特にこの報告書で取り上げている臨床分野において患者への放射線防護に多くの注意が払われてこなかったことは不幸なことである。30か国以上の発展途上国の放射線科医や循環器専門医以外の医師を対象にIAEAが行なった調査では、患者の線量モニタリングがほとんど完全に（90%以上の状況で）なされていなかった（IAEA, 2010）。文献調査でも画像診断部門以外の場合では職業被ばく線量に関する信頼できるデータが欠けていることが分かる。この状況は変えていく必要がある。

1.5 恐怖と過信

(10) 知識や自覚を欠いている場合、人はリスクの過大評価または過小評価に陥る傾向がある。根拠のない恐怖を抱く場合もあれば、適切な保護を軽視する場合もある。若い研修医が、指導医たちはどのように状況に対処するか、観察することはよくあることである。彼らは最初のうちは放射線リスクについて強い探求心を持っている。しかし指導医が放射線防護にあまり関心を抱いていないことが分かると、彼らも徐々に関心と熱意を失う傾向がある。これは本報告書で取り上げている臨床専門医の間でまれなことではない。ほとんどの場合そうであるように、医学物理士に意見を求める機会が研修医に与えられていない場合、研修医は指導医の例に従い、恐怖を抱いたり軽視したりするようになる。これは放射線の安全文化の問題であり、適切な安全文化の普及は指導医スタッフの責任であると考えべきである。

1.6 訓 練

(11) 歴史的に見ると、X線機器は多くの病院で画像診断部門にしか置かれていなかった。そのため、この装置を用いて手術・手技を行う放射線科医ではない医師には、放射線科医とレントゲン技師／放射線技師がいて助言を求めたり相談したりすることができた。このような場合は、放射線科医以外の医師に対しては実際的な指針に基づく放射線防護についてのオリエンテーションが通常行われていた。時が経つにつれて放射線の使用が増加し、X線機器が画像診断部門の管理外の他の診療科や病院区域にも設置されるようになるにつれ、訓練の欠如が明白となり注意すべき必要性が生じている。放射線科医や循環器専門医以外の医師の訓練のコースでIAEAが実施した調査 (http://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/AdditionalResources/Training/2_TrainingEvents/Doctorstraining.htm) を見る限り、発展途上国のほとんどの放射線科医および循環器専門医以外の医師が、放射線防護の訓練を受けておらず、これらの専門医の学会や会議ではふつう放射線防護に関する講義も行われず、会議の議題にもなっていないことは明らかである。放射線防護の訓練の欠如は、従事者と患者にリスクをもたらすものであり、是正する必要がある。委員会は放射線防護の訓練レベルを放射線の使用に見合うものにするべきであると勧告している (ICRP, 2009)。

1.7 なぜこの報告書を？

(12) 放射線の使用が画像診断部門以外のところで拡大している。X線透視装置は高度化されており、短い時間により高い線量の放射線を発することができる。したがって、X線透視時間だけでは放射線量の良い指標とはいえない。この報告書で取り扱う状況においては、患者の線量モニタリングは皆無に近い。デジタルX線装置による過剰被ばくは検出されない場合がある。精度管理システムで試験されていない機器では放射線量が高く画質が低くなることもあり、そして、放射線を用いた手技を繰り返せば患者の累積放射線量は高まる。画質に関わる要因は多数あり、もし注意を払わないと、低画質の画像と患者への高い被ばく線量をもたらす。他方、患者と従事者双方の安全を確保するために時間、距離、遮蔽原則を使った単純な技術もある (3章および4章)。放射線科以外にあるX線透視装置に直接関係するものではないが、他の状況から得られた教訓では、照射過誤と日常業務での過剰被ばくは両方発生する可能性があり、患者と従事者に電離放射線による健康への好ましくない影響が生じることが実証されている (ICRP, 2001; Ciraj-Bjelacら, 2010; Vaňoら, 2010; http://www.nytimes.com/2010/08/01/health/01radiation.html?_r=3&emc=eta1)。手術室で使用されている多くのX線透視装置には放射線遮蔽スクリーンとフラップがなく、放射線科と循環器科部門外での放射線防護

従事者は、固有の問題に直面する。個人線量計を使用している医療専門職者は一部であり、またその使用が規則に従っていないこともある。その結果、いくつかの実務の職業被ばく線量はおおむね不明である。

1.8 参考文献

- Ciraj-Bjelac, O., Rehani, M.M., Sim, K.H., et al., 2010. Risk for radiation induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern? *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 76, 826-834.
- IAEA, 2010. Radiation Protection of Patients. IAEA, Vienna. Available at: <http://rpop.iaea.org> (最終アクセス 2011/02/14).
- ICRP, 2001. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. *Ann. ICRP* 30(2).
- ICRP, 2009. Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures. ICRP Publication 113. *Ann. ICRP* 39(5).
- ICRP, 2013. Radiological protection in cardiology. ICRP Publication 120. *Ann. ICRP* 42(1).
- NCRP, 2009. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report 160. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- NCRP, 2011. Radiation Dose Management for Fluoroscopically Guided Interventional Medical Procedures. NCRP Report 168. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- UNSCEAR, 2010. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report. United Nations, New York.
- Vañó, E., Kleiman, N.J., Duran, A., et al., 2010. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat. Res.* 174, 490-495.

2. 電離放射線の健康への影響

- X線透視ガイド下手技に対する患者と従事者の組織反応は、現在までのところ、IVRと心血管インターベンションでしか報告されていないが、画像診断部門以外でのX線透視の使用レベルでもそのような傷害が出る可能性がある。
- X線透視を使用する場合は常に患者の線量モニタリングが不可欠である。

2.1 緒 論

(13) 医療従事者を含めほとんどの人々は、X線管から出る放射線の強度が、医療で使われる放射性物質（放射性同位元素と放射性医薬品）から出る放射線の強度より通常数百倍高いことを理解していない。この理解不足が、医用X線の多くの利用者に放射線防護が欠ける一因となっている。放射線防護の実施状況は放射性物質を使用している施設のほうがより優れている傾向がある。実際的な観点から、本報告書はX線からの電離放射線による健康への影響を対象としている。X線は可視光、紫外線光、赤外線、携帯電話からの放射、高周波、マイクロ波などのような電磁放射線の一種である。大きな違いはこれら他の種類の電磁放射線は非電離であり、熱の相互作用（熱を通じたエネルギーの消散）を通じてエネルギーを消失するという点である。これがマイクロ波ジアテルミーと電子レンジの原理である。他方、X線は電離放射線の形をとる。X線は原子と作用し合い、細胞内で電離を生じさせる。X線は遊離基を発生させるか、あるいはDNAの損傷や細胞死といった細胞への直接的な影響を与える。

2.2 放射線被ばくが発生する状況

(14) 自然放射線は実効線量で、世界平均が1人当たり2.4 mSv/年である（UNSCEAR, 2010）。標準的な自然放射線がおよそ1 mSv/年の国もあれば、およそ3 mSv/年の国もある。世界には住民が実効線量で5から15 mSv/年の自然放射線に被ばくしている地域もある（例えばインド、ブラジル、イラン）。委員会は従事者に対して全身実効線量限度を20 mSv/年（ある決められた5年間の平均値；5年間で100 mSv）、その他の限度については表2.1に示した値とすることを勧告している（ICRP, 2007, 2012）。

(15) X線透視装置を操作し、かつ本報告書で記述している放射線防護具と方法を用いる

表 2.1 職業被ばく線量限度 (ICRP, 2007, 2012)

限度の種類	職業限度
実効線量	20 mSv/年 (ある5年間の平均値)
以下の臓器における年間等価線量：	
眼の水晶体	20 mSv
皮膚	500 mSv
手と足	500 mSv

人々は、X線に関連する作業による自身の放射線量をおよそ1 mSv/年かそれ以下に抑えうるということを強調しておかなければならない。よって放射線防護の果たすべき役割がある。

2.3 電離放射線の健康影響

(16) 電離放射線の健康への影響は2つのタイプに分類される。1つは目に見え記録に残されており、比較的短時間(数週間から1年程度)で確認される影響〔「組織反応」または(以前は)「確定的影響」と呼ばれた影響：皮膚紅斑、脱毛、白内障、不妊症、循環器疾患〕であり、もう1つは推定されるだけで、発現するまでに年単位または十年単位の時間がかかる可能性のある影響(「確率的影響」と呼ばれる、がんと遺伝的影響)である。

2.3.1 組織反応

(17) 組織反応のしきい値は通常、非常に高い(表 2.2)。適切な放射線防護が実施されていれば従事者はこれらのしきい値に通常達しない。たとえば、皮膚紅斑は1世紀前の従事者の手に見られていたが、過去50年ほどでは医用X線を使用する従事者でこれはほとんど見られなくなっている。IVRや心血管インターベンションのX線透視ガイド下手技を受けた患者の間では皮膚傷害が数多く報告されている(ICRP, 2001; Balterら, 2010)。しかし、他の分野でのX線透視装置使用による報告例はこれまでのところ皆無である。脱毛はIVRや心血管インターベンションの手技を行う専門医の脚の鉛のエプロンまたは鉛のテーブル・シールドで防護されていない部位で報告されている(Wiperら, 2005; RehaniとOrtiz López, 2006)が、整形外科手術、泌尿器科、胃腸科、婦人科では報告されていない。これは、これらの診療科ではX線の使用程度が小さいためである。血管外科医におけるこれらの傷害に関する情報は不足しているが、これらの専門家は大量の放射線を使用しており、彼らの被ばくはIVRや心血管インターベンションの専門医の被ばくに匹敵すると思われる。このことは患者と従事者の両方に組織反応が出る可能性を生じさせる。X線透視室や血管撮影室での放射線業務で受ける線量レベルでは不妊はまず起こらない。

表 2.2 組織反応に関するしきい値 (ICRP, 2007)

組織と影響	しきい値	
	単回被ばくでの総線量 (Gy)	分割照射の場合の年間線量 (Gy/年)
精 巢		
一時的不妊	0.1	0.4
永久不妊	6.0	2.0
卵 巢		
不 妊	3.0	>0.2
水晶体		
白内障 (視覚障害)	0.5	0.5 を持続年数によって除する
骨 髄		
造血抑制	0.5	>0.4
心臓または脳 循環器疾患	0.5	0.5 (分割照射の場合は総線量)

(18) 眼の水晶体は、体で放射線感受性の高い組織の1つである (ICRP, 2012)。放射線誘発白内障はX線を使ったインターベンション手技に関与している従事者のあいだに見られることが報告されている (Vañoら, 1998; ICRP, 2001)。低線量の電離放射線に被ばくした集団に水晶体混濁のかなりのリスクが存在する可能性を示唆する研究がいくつかある。CTスキャンを受けた患者 (Kleinら, 1993), 宇宙飛行士 (Cucinottaら, 2001; Rastegarら, 2002), 放射線技師/レントゲン技師 (Chodickら, 2008), 原爆被爆者 (Nakashimaら, 2006; Neriishiら, 2007), チェルノブイリ事故の被ばく者 (Dayら, 1995) がこれらの集団に該当する。

(19) 白内障の形成は最近までしきい値のある組織反応であり、長期被ばくの場合の検出可能な混濁発現のしきい値は5 Sv、急性被ばくのしきい値は2 Svであると考えられていた (ICRP, 2001, 2012)。委員会は引き続き、すべての被ばく状況とすべての被ばくカテゴリーに対して防護の最適化を適用すべきであると勧告する。最近の知見により委員会はさらに、全身被ばくに対してだけでなく特定の組織の被ばく、特に眼の水晶体、心臓、脳血管系についても防護を最適化すべきであると強調する。委員会が今回レビューした最近の疫学的研究では組織反応効果、特に発現が非常に遅い効果が一部存在し、しきい値線量が従来考えられていたよりも低いか、または低い可能性があることを示唆している。眼の水晶体の場合、現在、吸収線量のしきい値は0.5 Gyと考えられている。また不確実性が残るものの、臨床医は心臓や脳に対する循環器疾患の吸収線量のしきい値がわずか0.5 Gyである可能性があることを認識しておくべきである。計画被ばく状況での職業被ばくについて、委員会は現在、眼の水晶体の等価線量限度を所定の5年間の平均値として20 mSv/年とし、いずれの年をとっても線量が50 mSvを上回らないことを勧告している (ICRP, 2012)。

(20) 医師と従事者がX線源の近くで散乱線強度が高い領域に1日数時間作業し、放射線防護具や方法を用いていない場合にはリスクは相当程度高くなる可能性がある。IAEAが実施した最近の2つの研究では、心臓カテーテル手技室で働く循環器科医と看護師における眼の水晶体の変化の有病率が対照群に比べ高いことが示されている (Ciraj-Bjelac ら, 2010; Vaňo ら, 2010)。

2.3.2 確率的影響

(21) 確率的影響には発がんや遺伝的影響があるが、ヒトにがんが発生するという科学的な証拠の方が遺伝的影響のそれよりも強い。Publication 103 (ICRP, 2007) によると低線量率の放射線被ばく後の集団全体についての確率的影響の放射線誘発率は、発がんが5.5%/Svで遺伝的影響は0.2%/Svである。したがって、発がんの確率は遺伝的影響の27倍である。現在までヒトにおいては広島と長崎の原爆被爆者でさえ放射線誘発性の遺伝的影響の発生は報告されていない。遺伝的影響についての文献はすべてヒト以外の種についてのものであり、ヒト以外の種については何千もの論文で遺伝的影響が報告されている。そのため、そして数十年もの文献を慎重にレビューした結果を踏まえ、委員会は生殖腺の組織加重係数を0.2から0.08と、半分以下に引き下げた (ICRP, 2007)。したがってこの報告書ではがんに重点を置いている。

(22) 発がんリスクは確率に基づいて推定されており、主に広島と長崎の原爆被爆者から得ている。したがってこれらのリスクは推定されたリスクである。現在の知識では臓器線量が >100 mGyとなると発がん効果が生じる可能性が高くなるとされている。たとえば、およそ8 mSvの実効線量を生じさせる胸部CTスキャンは、乳房におよそ20 mGyの線量を与えると考えられる。したがって、CTスキャンを5回受ければ、およそ100 mGyを受けることになる。1回あるいは2,3回のCTスキャンによる放射線量で発がんリスクが存在するかについては見解が分かれるかもしれないが、5回から15回のCTスキャンを受けると線量はリスクが報告されている被ばくレベルに近づく。X線透視ガイド下での手技によって患者が受ける放射線量には大きな幅があるため、発がんリスクについて言及するにはその線量を明らかにしなければならない。発がんリスク推定値は、名目的な標準人をモデルにしており、特定の個人にとって有効とみなすことができないということをまず指摘しておかなければならない。確率的リスクにはしきい値はなく、かつ委員会は放射線被ばくのどんなに低いレベルでも直線しきい値なしの線量効果関係は有効であると考えており、リスクは非常に低い線量であっても、またそれがどんなに小さくとも存在すると仮定される。防護を達成する最善の方法は被ばくを最適化し、放射線被ばくを合理的に達成可能な限り低く、かつ臨床的に有用な画像が得られる程度に保つことである。

2.3.3 個人による放射線感受性の違い

(23) 組織や臓器によって放射線感受性が異なり、がん誘発に対しては通常男性より女性のほうが放射線感受性が強いことはよく知られている。同じことは若い患者にも当てはまり、高齢患者に比べ若い患者のほうが放射線感受性が高い。たとえば、60歳で0.1 Gyの被ばくを受けた場合、被ばくに起因すると思われる肺がんを発症する女性の生涯リスクは、同じ年齢で同じ線量に被ばくした男性のそれより126%高いと推定されている (BEIR, 2006)。男性が40歳で被ばくした場合、60歳で同じ放射線量に被ばくするより肺がんリスクは17%高くなると推定されている。X線透視ガイド下手技においてはいくつかの臓器で放射線量レベルが比較的高くなることが考えられるため、その手技を使うことへの正当化と放射線防護の最適化のプロセスにおいて放射線感受性のこれらの一般的側面を考慮すべきである。放射線誘発がんの感受性にも遺伝的個体差が存在する。そしてそれらは高線量に被ばくしたケースにおいては家族歴や病歴に基づいて個別に考慮すべきである (ICRP, 1999)。

(24) 自己免疫障害および結合織病がある場合は、予測できないかたちで患者に重症の皮膚傷害を発症させる素因となる。その原因は不明である。これらの障害には強皮症、全身性エリテマトーデス、そしておそらくは慢性関節リウマチも含まれる。しかし全身性エリテマトーデスが患者にこれらの影響を生じさせる素因となるかどうかについては意見が分かれている。また毛細血管拡張性運動失調症の原因である ATM 遺伝子の欠陥などの DNA 修復に影響を及ぼす遺伝性疾患も患者の放射線感受性を高める素因となる。よく見られる病態である糖尿病は放射線に対する感受性を高めることはないが、放射線傷害の治癒を損なう (Balter ら, 2010)。

2.4 参考文献

- Balter, S., Hopewell, J.W., Miller, D.L., et al., 2010. Fluoroscopically guided interventional procedures : a review of radiation effects on patients' skin and hair. *Radiology* 254, 326–341.
- BEIR, 2006. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation : BEIR VII Phase 2. National Academies Press, Washington, DC.
- Chodick, G., Bekiroglu, N., Hauptmann, M., et al., 2008. Risk of cataract after exposure to low doses of ionizing radiation : a 20-year prospective cohort study among US radiologic technologists. *Am. J. Epidemiol.* 168, 620–631.
- Ciraj-Bjelac, O., Rehani, M.M., Sim, K.H., et al., 2010. Risk for radiation induced cataract for staff in interventional cardiology : is there reason for concern? *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 76, 826–834.
- Cucinotta, F.A., Manuel, F.K., Jones, J., et al., 2001. Space radiation and cataracts in astronauts. *Radiat. Res.* 156, 460–466.
- Day, R., Gorin, M.B., Eller, A.W., 1995. Prevalence of lens changes in Ukrainian children residing around Chernobyl. *Health Phys.* 68, 632–642.
- ICRP, 1999. Genetic susceptibility to cancer. ICRP Publication 79. *Ann. ICRP* 28(1/2).
- ICRP, 2001. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. *Ann. ICRP* 30(2).

- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- ICRP, 2012. ICRP statement on tissue reactions / early and late effects of radiation in normal tissues and organs—threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118 Ann. ICRP 41 (1/2).
- Klein, B.E., Klein, R., Linton, K.L., et al., 1993. Diagnostic X-ray exposure and lens opacities : the Beaver Dam Eye Study. *Am. J. Public Health* 83, 588–590.
- Nakashima, E., Neriishi, K., Minamoto, A., et al., 2006. A reanalysis of atomic-bomb cataract data, 2000–2002 : a threshold analysis. *Health Phys.* 90, 154–160.
- Neriishi, K., Nakashima, E., Minamoto, A., et al., 2007. Postoperative cataract cases among atomic bomb survivors : radiation dose response and threshold. *Radiat. Res.* 168, 404–408.
- Rastegar, N., Eckart, P., Mertz, M., 2002. Radiation-induced cataract in astronauts and cosmonauts. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* 240, 543–547.
- Rehani, M.M., Ortiz López, P., 2006. Radiation effects in fluoroscopically guided cardiac interventions—keeping them under control. *Int. J. Cardiol.* 109, 147–151.
- UNSCEAR, 2010. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report. United Nations, New York.
- Vañó, E., González, L., Beneytez, F., et al., 1998. Lens injuries induced by occupational exposure in nonoptimized interventional radiology laboratories. *Br. J. Radiol.* 71, 728–733.
- Vañó, E., Kleiman, N.J., Duran, A., et al., 2010. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat. Res.* 174, 490–495.
- Wiper, A., Katira, A., Roberts, D.H., 2005. Interventional cardiology : it's a hairy business. *Heart* 91, 1432.

3. 患者防護と職業被ばく防護

- メーカーは、病院ネットワークへ転送できる患者線量報告書を作成することのできる患者線量インデックス表示システムを開発すべきである。
- メーカーは、手術室でX線透視装置を使う従事者の防護のために臨床業務の妨げとなることなく使用できる遮蔽スクリーンを開発すべきである。
- 患者の線量を低減するためのあらゆる措置は、それに対応する職業被ばく線量の低減効果を伴う。しかしその逆は必ずしも真ではない。
- X線透視装置の品質管理検査を定期的に行うことによって設備の安全性に対する信頼を確保することができる。
- 手術室でX線装置を使用する従事者を防護するため、可能なかぎり放射線遮蔽スクリーンを使用することが推奨される。

3.1 放射線防護の一般的な方法と原則

(25) 放射線防護の基本原則は、正当化、最適化および線量限度である。時間、距離および遮蔽は、本報告書の範囲内の状況に適用可能な、最適化を達成するための方法の主要な側面となる。

3.1.1 時 間

(26) 放射線照射時間は最小限にとどめるべきである。最小化の対象がX線透視時間であれば、収集するフレーム数や画像毎数であれ、これは有効である。

3.1.2 距 離

(27) X線源からの距離は實際上可能な限り遠くすべきである（それにより放射線量を2分の1から20分の1あるいはそれ以上に低減することができる）(3.3.2 および図 3.3 参照)。

3.1.3 遮 蔽

(28) 遮蔽は効果的に使用すべきである。これは職業上の防護の手段として最も効果的であり(3.4.1)、X線透視における患者の体の部分（乳房、女性の生殖腺、眼および甲状腺など）

の防護には限定的な効果がある（男性の生殖腺を除く）。

3.1.4 正当化

(29) 電離放射線を使用する多くの手技が有益であることは広く認められており、医療専門職並びに社会全体に受け入れられている。放射線を使用する手技が医学的に妥当と認められる場合には予想された利益はほとんどの場合証明可能であり、時には定量化可能でもある。他方、有害な影響のリスクは推定し定量化することは困難なことが多い。委員会は *Publication 103* において正当化の原則として「放射線照射条件を変更する決定を下す場合は、利益が害を上回るべきである」(ICRP, 2007 a) と述べている。*Publication 105* (ICRP, 2007 b) において、委員会は患者被ばくの正当化には多段階アプローチをとることを推奨している。個々の患者に対し、依頼する臨床医（患者の検査を依頼する医師で、患者の内科もしくは外科の主治医である）と放射線科医（検査実施責任者）の双方が正当化に普段から関与する必要がある。

3.1.5 最適化

(30) 検査が正当化されれば、検査を最適化すべきである（すなわち、有効性と正確さを維持しながらより低い線量で行うことができるか？）。防護の最適化は施行される検査種、使用するすべての設備と手技の違いに関わらず常に適用されるべきである。これはまた1例1例個別に、個々の患者の線量を低減する方向で効果的に行うことができるかどうかを考慮すべきである (ICRP, 2007 b)。

3.2 施設の要件

(31) 実際の慣行は国によってそれぞれ異なり、それぞれの国の当局が定めた要件に適合しているべきである。一般的にいうと、X線装置はすべて全体を監督する国の規制当局の下で該当する国内データベースに登録されるべきである。多くの場合、登録と認可プロセス時に当局は装置の仕様とそれが使用される部屋のサイズと遮蔽を調べる。国際的なレベルについてはX線装置の安全要件は国際電気標準会議や国際標準化機構などの国際機関が規定している。多くの国ではX線装置に対する国家規格が制定されており、それが適用される。これらの措置は被ばくの可能性のある従事者と公衆の防護を意図している。このプロセスには有資格スタッフの配置も含まれる。安定度チェックと性能評価のため定期的に精度管理検査が要件に含まれる。X線透視装置の定期的な精度管理検査によって、装置の安全性に対する信頼と最適な画質の画像を提供する能力を確保することができる。装置が適切に動作していない場合、患者の過剰被ばくと画質の悪化を招く。それでも、国の要件がたとえどのようなものであろうと、施設設計と操作が患者、従事者、公衆の安全性を担保するために、それらの要件に従うことが重要

である。

3.3 患者の防護と職業被ばく防護の共通点

(32) 患者の線量と職業被ばく線量の両方に影響を及ぼす数多くの要素が存在する。患者の線量を低減する措置はすべて職業被ばく線量も低減する。しかしその逆は必ずしも真ではない。鉛エプロン、有鉛ガラス眼鏡、その他のタイプの遮蔽を使うことによって従事者は自身の放射線量を低減する可能性があるが、これらの防護装置によっては患者の線量は低減しない。状況によってはスタッフ側の安全感が患者の防護の軽視につながる可能性がある。したがって患者の線量と職業被ばく線量の最適化と監査に医学物理士が関わるのが特に高線量をもたらす手技には不可欠である。職業被ばく防護に当てはまる特定の要因は3.4節で取り上げている。

3.3.1 個々の患者固有の要因

X線ビームが照射されている部位の体厚

(*) ほとんどのX線透視装置は「自動照射制御」と呼ばれるシステムによって自動的に放射線照射を調節する。この電子装置にはどれくらいの発光量が画像検出器で発生しているか検出するセンサーがあり、画像が一貫した画質を維持できるように被ばく係数（一般的にはkV, mA, パルス時間）を増減するようにX線発生器を調整する。肉厚な部位にビームが照射されているか、あるいは（やせた患者に比べて）太った患者を撮像している場合には、装置はこれらの照射係数を自動的に高める。結果はほぼ同じ画質であるが、患者の放射線量は増加する。患者の線量が増えると散乱線が増加し、従事者の被ばく線量が増える。図3.1は部位の体厚とともに入射皮膚線量が増加することを示している。他方、図3.2は患者の体にどれくらいの放射線が吸収されるかを示している。 (* この項、原著に番号なし)

手技の複雑さ

(33) 複雑さは、ある手技を行うために必要な精神的、肉体的努力を表す。複雑さの指標は客観的尺度である。例としては、非常に蛇行している血管または重症の不規則な狭窄を貫いてガイドワイヤまたはカテーテルを留置する場合などが挙げられる。複雑さは患者の要素（解剖学的な個体差、体形）と病変の要素（部位、サイズ、重症度）によるものであり、操作者の訓練と経験には依存しない。複雑な手技のほうが複雑でない手技に比べ放射線量が高くなる傾向がある（IAEA, 2008）。

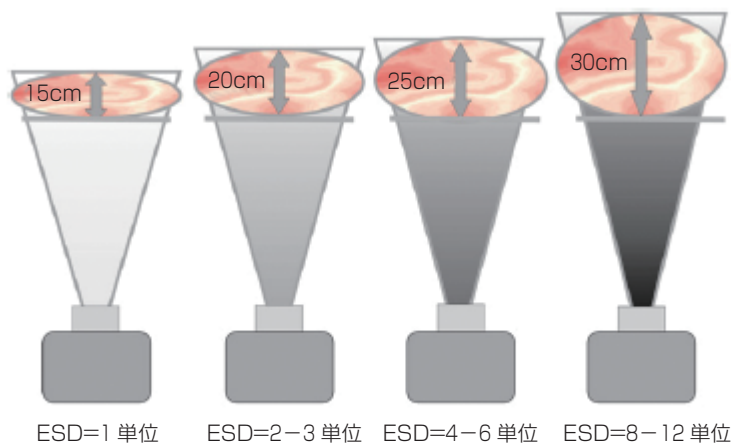


図 3.1 同じ画質を得るための X 線ビームを照射する部位の体厚に応じた入射表面線量 (ESD) の変化

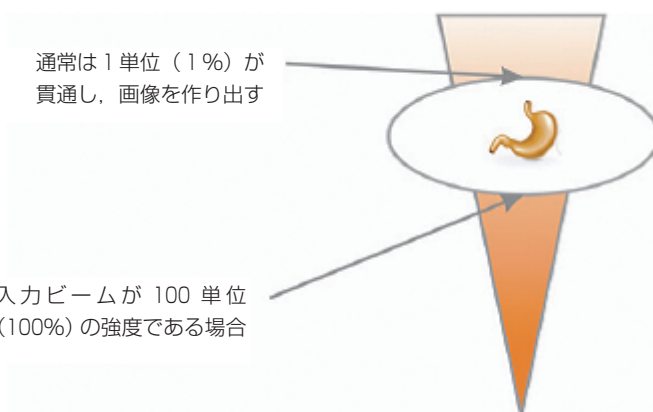


図 3.2 患者の入射側と射出側の放射線の相対的強度

3.3.2 個々の手技による要因

(34) 体の入射表面における放射線の量は、体の射出表面から出る放射線の量とは異なる。体は指数関数的に X 線を減衰させる。その結果、放射線の強度は体を通過する経路をたどるにしたがって指数関数的に減少する。一般に、入射放射線のわずかな割合しか体から出ない。したがって、放射線が入射する皮膚に大きなリスクが存在する。皮膚の同じ部位だけが照射されるのを避けるために X 線ビームを回転させることは有用である。さまざまなインターベンション手技を受けている患者で数多くの皮膚傷害が報告されているが、現在までのところ、これらの傷害は整形外科医、泌尿器科医、消化器科医、婦人科医が実施した手技の結果としての報告はない (ICRP, 2001; Koenig ら, 2001; Rehani と Ortiz López, 2006; Balter ら, 2010)。

オーバーチューブ透視装置を使用した場合、一次ビームの照射野に入る指の被ばく線量は、一般にアンダーチューブ透視装置を使った際の被ばく線量のおよそ100倍である。

(35) さらにX線装置にはそれぞれ独自の特徴があることから、その使用者は自身の使う装置がどのように機能するかについて理解することが重要である。アメリカ電機工業会(www.nema.org)が制定している規格によって違いは低減されているが、理解しておく必要がある特徴は常に存在する。最新の装置は非常に複雑であり、装置について知る必要があることを軽視してはならない。

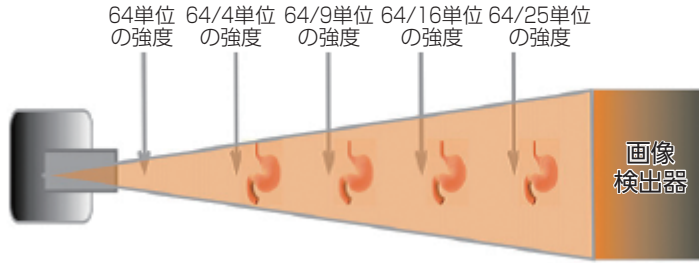
X線管と画像検出器の位置

(36) X線源(X線管焦点)から患者の皮膚までの間の距離は、「線源-皮膚間距離」(source-to-skin distance: SSD)と呼ばれる。SSDが大きくなればなるほど、患者の皮膚の放射線量は減少する。これは距離の増加と逆二乗則の効果による(図3.3)。患者は、SSDを最大にするために実際上可能な限り、X線源から離しておくべきである(ある特定の臓器または構造をガントリーのアイソセンターに合わせるが必要な場合には、これが不可能な場合がある)。患者をSSDが最大となる位置に置いた後は、画像検出器(イメージインテンシファイアまたはフラットパネルディテクタ)は実際上可能な限り患者近くに設置すべきである。最新のX線透視撮影装置はX線透視時、X線撮影時のいずれの場合も線源-検出器間距離(source to image receptor distance: SID)の変化に対応できるよう自動的に放射線出力を調整するようにできている。装置による放射線出力調整は画質を維持することを意図したものである。このことは画像検出器に放射線が照射される、すなわち患者がある放射線量に被ばくすることを意味している(図3.4)。単純化して言えば、SSDを最大化し検出器をできるだけ患者に近づけるべきである。これは組織反応防止の重要な手段である。ほとんどの場合、画像診断部門以外のところで使用されるモバイルCアーム・システムは、X線管と画像検出器の間の距離は固定されている。この場合、図3.3に示したように、SSDが大きくなるにつれて $(1/SSD)^2$ として表される逆二乗則効果により患者の皮膚の放射線量は減少する。しかしこれが当てはまらない場合、位置関係(SSDとSID)が複雑なかたちで入射皮膚線量に影響を及ぼすおそれがある点に注意することが重要である。検出器が患者の近くにあれば、患者を線源から離すことで皮膚線量を低減させることができるが、それは線源から検出器を離すことにもなりそれにより皮膚線量が増える。この場合、皮膚線量率は単純な逆二乗則ではなく、 $(SID/SSD)^2$ 比で変化する。

可能なかぎり急勾配のガントリー角度を避ける

(37) ガントリー角度(斜方向および側方向からの入射)が急勾配の場合、後前方向(正面)撮影(図3.5)に比べ、体を透過する放射線経路の長さが長くなる。厚みの大きな組織を

他のすべての条件が変わらない場合、患者をX線管に近づけたり遠ざけたりすることによって、皮膚の線量率に大きな影響が生じる



教訓：X線管は実行可能なかぎり患者から最大限離しておくこと

図 3.3 患者とX線管との距離が患者の放射線量に及ぼす影響

他のすべての条件が同じ場合、画像検出器を患者の方に近づけると放射線出力率を引き下げ、皮膚線量率を低減することができる

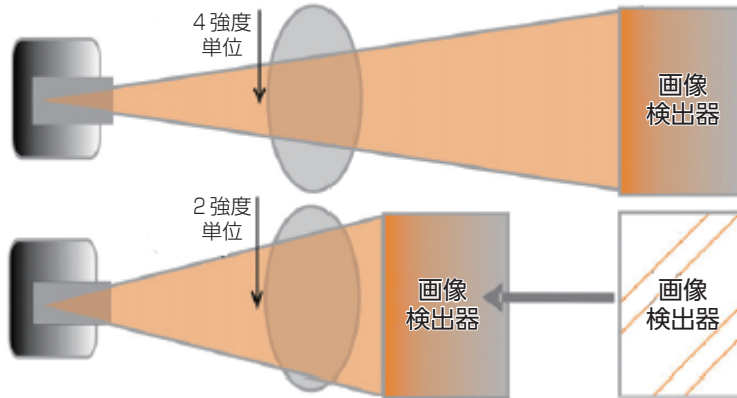


図 3.4 画像検出器と患者との距離が患者の放射線量に及ぼす影響

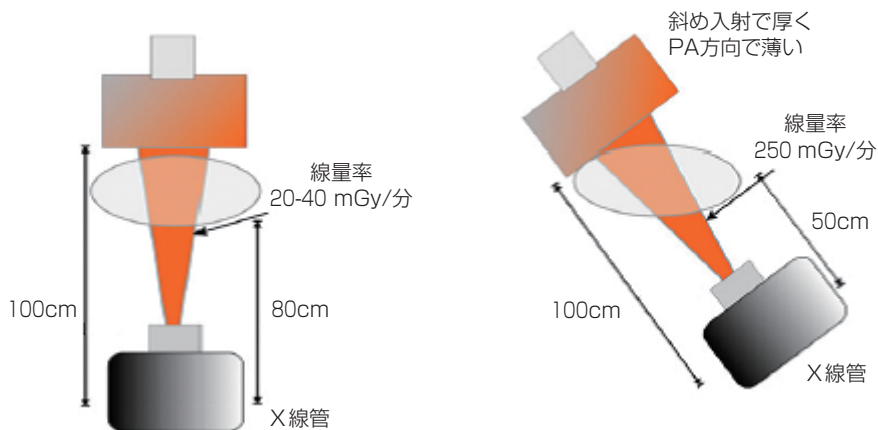


図 3.5 入射角度が患者の線量に及ぼす影響——PA（後前方向）

透過しなければならず、それには、高い放射線量率が必要になる。最新のX線透視撮影装置はすべて、X線透視時、撮影時のいずれの場合も、被写体厚に対応できるように自動的に放射線出力を調整する(3.3.1参照)。厚みが増えるだけでなく、SSDを小さくすると、皮膚線量が更に増加する。その結果、角度の大きい斜方向または側方向からの入射を行うと、放射線量は自動的に増加する。可能なかぎり角度の大きい斜方向または側方向からのガントリー位置は避けるべきである。これらのガントリー位置をとる必要がある場合は、放射線量が相対的に高いことを認識すべきである。

不必要な部分をX線ビームの中に入れてない

(38) 放射線照射野を撮像しなければならない部分に限定することは適正な作業である。他の部分が照射野に含まれている場合、骨その他の組織に由来する画像アーチファクトが画像に映り込むことがある。またガントリーが側方向または斜方向にあるとき両腕が照射野に入っていると、片方の腕がX線管に非常に近くなる可能性がある。この腕の線量は皮膚損傷を引き起こすほど高い可能性がある(図3.6)。腕を手技の一部として意図的に撮像する場合を除き、患者の腕は放射線照射野外に置くべきである。

低いパルスレートでパルス透視を使用する

(39) パルス透視はパルス状にX線を照射し、見かけ上連続的な動きを作り出す。パルス1回あたりの線量が一定であれば、低いパルスレートでの透視により従来の連続透視に比べX線透視線量を大幅に低減することができる。パルス透視が利用できる場合は常にパルス透視を使用し、パルスレートは手技に適合するかぎり最も低くすべきである。心臓以外のほとんどの手技については10パルス/秒かそれ以下のパルスレートで十分である。

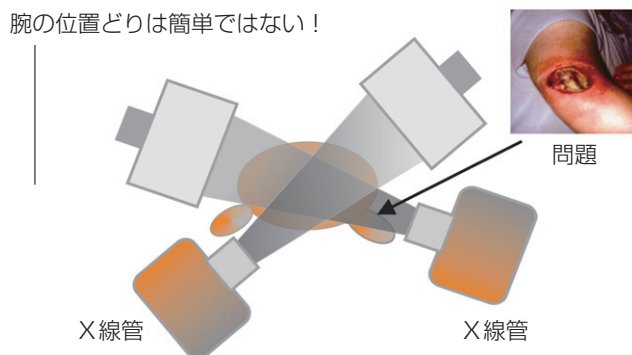


図 3.6

放射線ビームの経路に、たとえば腕のような余分な組織が加わると、放射線強度が高まりその腕が高線量に被ばくする可能性がある。長時間の手技になると、これにより皮膚傷害が生じるおそれがある。

低い透視線量率に設定する

(40) 透視パルスレートと透視線量率は、いずれも多くのX線透視装置で調節することができる。透視線量率は透視パルスレートと同じではない。これらのパラメータは独立しており別個に調節することができる。線量率を低くすると画像のノイズが増えるというマイナス面があるが、患者の線量を低減することができる。複数の透視線量率設定ができる場合は、十分な画質を提供する最も低い線量率設定を使用すべきである。

絞り（コリメーション）

(41) X線ビームの絞りは放射線照射野のサイズを関心領域に限定するように設定すべきである。それにより照射を受ける組織の量を低減し、散乱も小さくなり画質を向上させることができる。散乱は放射線照射野の面積の増加にともない線形に増加する。一次ビームの絞りが適切に設定されておらず、照射野が患者の外側にあると職業被ばく線量が大幅に増加する。手技を開始するにあたっては画像検出器を関心領域上に設置し、絞りはほとんど閉じておくべきである。望ましい視野が得られるまで絞りを徐々に開いていくようにすべきである。最新のデジタルX線透視装置で仮想絞り機能（放射線を使わずに絞りの位置を決定する機能）が装備されていれば、これは患者の線量を低減する有用なツールであるため常に使用すべきである。

拡大の使用はどうしても必要な場合に限定する

(42) 電子的な拡大では患者の入射皮膚に比較的高い線量率を生じる。電子的に倍率を拡大することが必要な場合は、必要な最少量の拡大を使用すべきである。

透視対撮影および撮影数の最小化

(43) 撮影は一般にシネモードでの透視に必要な線量率より少なくとも10倍の線量率が必要であり、デジタルサブトラクション血管造影法モードでの透視に必要な線量率の100倍の線量率が必要となる。透視の代わりとして撮影を行うべきでない。

(44) 撮影数は診断または、所見やデバイスの留置を記録するのに必要な数に限定すべきである。最終画像保持機能による透視像を表示することにより所見が十分に明示され、その画像を保存することができれば、X線撮影をさらに加える必要はない。

透視時間を最小限にする

(45) 透視の使用は動いている対象または構造を観察する場合に限定すべきである。研究、協議または教育のために透視を継続するのではなく、最終画像保持機能を使用すべきである。透視の連続操作ではなく、短いタップで使用すべきである。モニター画面を注視していない場合は透視ペダルを踏まないことが重要である。

患者の線量のモニタリング

(46) 残念なことに総じて画像診断部門外に設置されている X 線透視システムでは患者の線量モニタリングはほとんど実施されていない。患者の線量評価を行う手段を整備することが強く要望される。メーカーは病院ネットワークへ転送できる患者線量報告の作成ができるように患者線量インデックスを表示するシステムを開発すべきである。新しい装置を購入する場合には医療専門者はこの事を主張すべきである。

3.4 職業被ばく防護固有の側面

(47) 従事者は 3.1 節の原則と 3.3 節で述べた一般的要素に従うことに加えて、遮蔽装置を使用することによって防護できる。またほとんどの国で、従事者はそれぞれの国の法令にしたがって個人モニタリングを行うことが義務づけられている。

(48) 図 3.7 は透視台近くおよびその周辺の相対的な放射線強度を表している。放射線の一次線源は X 線管であるが、この一次 X 線ビームは患者だけに照射すべきである。患者、設備の一部、透視台から散乱する放射線、いわゆる「二次放射線」または「散乱線」が従事者の放射線被ばくの主な線源である。有用な経験則では、X 線管に一番近い患者側で放射線量率が高くなる。

3.4.1 遮 蔽

鉛エプロン

(49) 鉛エプロンは X 線室での個人遮蔽の最も基本的な要素であり、その場にいるすべて

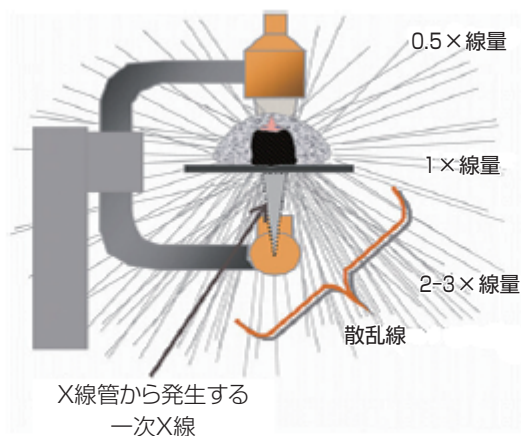


図 3.7 一次放射線と二次放射線——それぞれの分布と相対的強度

の者が着用すべきである。鉛エプロンの防護レベルはX線のエネルギーに依存する点に留意する必要がある。X線のエネルギーはX線管に印加する管電圧によって表される (kV)。X線ビームが当たる患者の部位が厚ければそれだけX線透視装置が設定するkV値は高くなる。kV値が高ければ高いほどX線ビームの透過力は高くなる。このことは、減衰させるために鉛厚を厚くすることが必要であることを意味している。

(50) 透視を使った診断手技およびインターベンション手技に参加する臨床スタッフは散乱線から組織と臓器を防護するために鉛保護エプロンを着用する (NCRP, 1995)。透過はX線のエネルギーとエプロンの鉛当量厚 (lead-equivalent thickness) に依存する。散乱線の減衰は一次 (入射) ビームの減衰と等しいと仮定する。この事は安全性へのゆとりを持たせる (NCRP, 2005)。

(51) 図 3.8 は厚さ 0.5 mm と 0.25 mm の鉛を用いた場合の入射ビーム強度の比率として、相対的透過値 (relative penetration value) を表している。痩せ型の患者、特に子どもに対して行う手技については鉛当量 0.25 mm のエプロンで十分である。しかし、太った患者の場合や作業量が多い場合には 0.35 mm の鉛エプロンのほうが適切であると考えられる。鉛当量 0.25 mm の巻きつけ式のエプロンは理想的である。これらのエプロンは背中が 0.25 mm で正面が 0.5 mm の厚さがある。ツーピースのスカートタイプのエプロンは重さを分散することができる。重いエプロンは長期間着用しなければならない従事者には不便を生じることがある。長年鉛エプロンを着用している従事者の間で、鉛エプロンの重さのために背中を痛めたという報告がある (NCRP, 2010)。鉛当量を維持しながら軽量な新しいエプロンもある。これらはひもと肩フラップによって重さを分散するようにデザインされている。

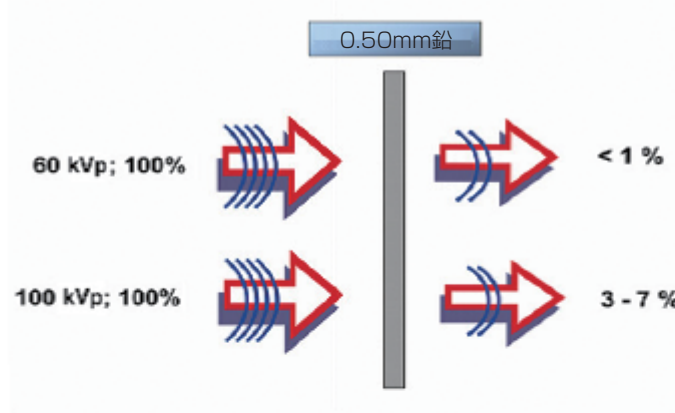
天井懸架型遮蔽

(52) 鉛をプラスチックまたはガラスに含浸させた天井懸架スクリーンは、IVR室、心臓血管撮影室では非常に一般的であるが、X線透視装置を使う手術室ではめったに見られない。遮蔽スクリーンは鉛当量 0.5 mm 以上あれば、X線強度を 90% 以上低減することができるため、非常に効果的である。手術室のX線透視装置に対して職業被ばく防護目的で放射線遮蔽スクリーンを使用することは実際の問題として難しいが不可能でない。メーカーは臨床業務の妨げにならない職業被ばく防護に使用できる遮蔽スクリーンを開発すべきである。

搭載型遮蔽

(53) これにはテーブル搭載型有鉛ゴム・フラップまたは稼働式鉛ガラス・スクリーンなどが該当する。有鉛ゴム・フラップはほとんどのIVR室、心臓血管撮影室で非常に一般的であるが、手術室で使われるX線透視装置にはめったに見られない。メーカーには手術室での作業状況に見合う脱着可能な遮蔽フラップの開発を望みたい。効果的な減衰を得るためには、通

(a) 鉛エプロンを着用して測定した場合の透過率（厚さ0.5mm）



(b) 鉛エプロンを着用して測定した場合の透過率（厚さ0.25mm）

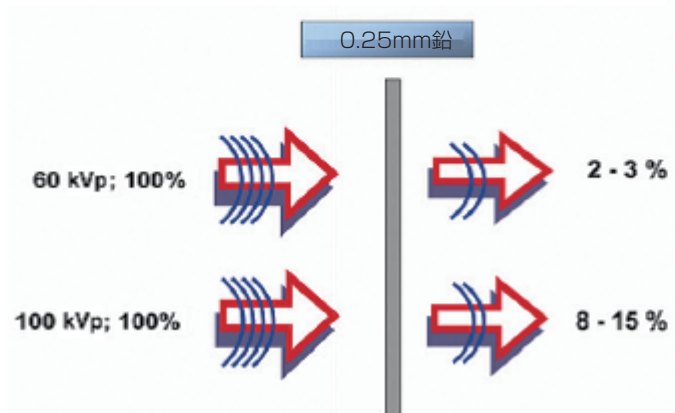


図 3.8 鉛に対する異なる kV の X 線の透過率

(a) 厚さ 0.5 mm と (b) 厚さ 0.25 mm。結果は X 線ビーム濾過ごとに異なる。

出典：E. Vañó

常鉛当量 0.5 mm の有鉛ゴム・フラップを使用すべきである。

(54) それに加えさまざまな種類の有鉛ガラス眼鏡が広く販売されている。これには普段眼鏡をかけている人の矯正レンズとして注文することができる眼鏡も含まれる。従事者の眼鏡にクリップでとめることができるクリップ式の眼の保護具、跳ね除けとして機能するフルフェイスの保護具もある。鉛入り眼鏡は横から入ってくる放射線を低減するために、側面の遮蔽も装備すべきである。これらの防護具の使用を強く推奨する。

3.4.2 個人モニタリング

(55) 電離放射線に対する従事者の放射線防護の原則は *Publication 75* (ICRP, 1997) において述べられており、*Publication 105* (ICRP, 2007 b) 113 項でも繰り返して述べられている。

この項では誰をモニターする必要があるか、そしてどんな防護措置を講じるべきかに関する実際的なポイントについて説明する。

(56) フィルム、熱ルミネセンス線量計、光学刺激ルミネセンスバッジ、その他の適切な器具を使った電離放射線に被ばくする従事者の個人モニタリングが、職場での放射線管理業務の有効性を検証するのに使用される。どの方法が最適か決定する際には、放射線防護専門家または医学物理士の助言を求めるべきである。外部放射線被ばくの個人モニタリング・プログラムは、防護の最適化に関する情報を提供し、従事者の被ばくがいずれの線量限度または当該活動について予想されるレベルを上回っていないことを証明することを目的としている (IAEA, 1999)。合理的に達成可能なかぎり低く被ばくを抑えるためのプログラムの有効な構成要素であるこの個人モニタリング・プログラムは、職場の変化を検出し線量を最小限に抑える作業習慣を特定するためにも使用される (NCRP, 2000; IAEA, 2004)。1990年に委員会は従事者の線量限度を 20 mSv/年 (ある5年間の平均値; 5年間で 100 mSv) にし、その他の限度は表 2.1 に示した値とするよう勧告している。これらの限度は 2007年の勧告 (ICRP, 1991, 2007 a) でも採用されている。しかし、線量を可能な限り最も低いレベルに引き下げるあらゆる合理的努力を払うべきである。線量レベルについての知識は放射線防護措置の使用にとって不可欠である。

(57) 血管外科医によって行われるインターベンション手技のような特定の状況では職業被ばくが高く、従事者は強固かつ適切なモニタリングの組合せを使用する必要がある。鉛エプロンの下に線量計を1つ着用するだけで、ほとんどの場合、実効線量の合理的な推定を行うことができ、カラー (襟元) にもう1つの線量計を着用するという選択肢もある。眼の水晶体の線量を測定する他に良い方法がない場合、エプロンの上の線量計をX線管に最も近いカラー、通常は左側のカラーにつけると、頭と眼の水晶体の線量のおおまかな推定値が得られる。インターベンション手技に関わる人々のあいだで放射線誘発白内障の報告が増加していることからすれば、眼の線量のモニタリングは重要である (Ciraj-Bjelac ら, 2010; Vaňo ら, 2010)。近年では水晶体線量評価が活発な研究分野になっている。どの個人線量当量が適切であり、眼の水晶体が被ばくする線量をモニターするのにそれがどのように使えるのかを決めるため、そして眼の水晶体の線量を測定する線量計を開発するために多くの研究が行われている (Domienik ら, 2011)。委員会は実際の状況下の眼の線量の信頼できる推定が行える方法を確立すべきであると勧告する。画像診断部門外でX線透視を使用する現在のレベルでは、眼の水晶体の線量モニタリングは、血管外科医と心血管インターベンションまたはそれと同等の分野以外の分野においては任意となっている。手がどうしても一次X線ビームに当たる場合は、小型リング線量計を使って指の線量をモニターすることも考えられる。放射性同位元素の使用レベルは少ないため SLNB (センチネルリンパ節生検) では指の線量測定は必ずしも義務的に実施する必要はない。しかし、指を一次ビームに曝すという習慣は常に回避すべきである。

(58) 各診療科での線量は分析すべきであり、高い線量と異常値は調査すべきである (Miller ら, 2010)。すべての従事者について不必要なモニタリングを行うことを避けるために、リスクにもとづく職業被ばくモニタリング・アプローチを採用すべきである。本報告書で取り上げている分野の画像診断部門以外の X 線透視の現在の実施レベルでは、鉛エプロンの下に 1 つの線量計を着用すれば血管手術のケースを除いて十分と思われる。まれにしか使用しない例が数多くあるため、線量計はいつでも使用する必要があるという認識を高める必要がある。

(59) 個人モニタリングが必要とされているにもかかわらず、個人線量計の不使用または規則に従わない使用が依然として多くの病院で主要な問題の 1 つとなっている (Miller ら, 2010)。職場の管理区域での従事者は通常、放射線被ばくをモニタリングされている。管理区域は次のように定義される。すなわち、その区域は平常の労働条件下での平常状態における被ばくを管理し、潜在的被ばくを防止し、かつその程度を制限するために具体的な防護措置と安全措置が必要とされるか、あるいは必要となりうる区域のことである。防護部門は専門的助言を提供し、必要なモニタリング対策を手配すべきである (ICRP, 2007 a)。管理区域で働いている従事者、あるいは管理区域で働くのは時折ではあるが大量の職業被ばくを受けるおそれのある従事者に対しては、全員個人モニタリングを実施すべきである。個人モニタリングが不適切、不十分、あるいは可能でない場合、従事者の職業被ばくは職場モニタリングの結果と、従事者の被ばく場所と被ばく時間に関する情報に基づいて評価すべきである (IAEA, 1996)。個人モニタリングに加えてパッシブ型線量計または電子線量計 (例えば C アーム装置に取り付ける線量計) を用いた間接的方法をこれらの施設では使用して、定常的に個人線量計を使用しない専門職者の職業被ばく線量の評価を可能にするよう勧告する。

3.5 参考文献

- Balter, S., Hopewell, J.W., Miller, D.L., et al., 2010. Fluoroscopically guided interventional procedures : a review of radiation effects on patients' skin and hair. *Radiology* 254, 326-341.
- Ciraj-Bjelac, O., Rehani, M.M., Sim, K.H., et al., 2010. Risk for radiation induced cataract for staff in interventional cardiology : is there reason for concern? *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 76, 826-834.
- Domienik, J., Brodecki, M., Carinou, E., et al., 2011. Extremity and eye lens doses in interventional radiology and cardiology procedures : first results of the ORAMED project. *Radiat. Prot. Dosim.* 144, 442-447.
- IAEA, 1996. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. IAEA Safety Series No. 115. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 1999. Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation. IAEA Safety Guide RS-G-1.3. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 2004. Individual Monitoring. IAEA-PRTM-2 (Rev.1). International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 2008. Establishing Guidance Levels in X-ray Guided Medical Interventional Procedures : a Pilot

- Study. IAEA Safety Report Series 59. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3).
- ICRP, 1997. General principles for the radiation protection of workers. ICRP Publication 75. Ann. ICRP 27(1).
- ICRP, 2001. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30(2).

4. 臨床診療における固有な状況

- 血管内動脈瘤修復術（EVAR）、腎動脈形成術、腸骨動脈形成術、尿管ステント留置術、内視鏡的逆行性胆管膵管造影および治療（ERCP）、胆管ステント留置・ドレナージ術などの手技は 1 Gy を上回る皮膚線量を与える可能性がある。
- 患者と従事者の放射線量管理は、実効性のある放射線防護プログラムがあって初めて達成できる困難な作業である。
- 医学物理士の関与や助言を必要とするいくつかの専門的事項がある。それには放射線量評価、日々の診療における線量管理、さまざまな放射線量についての理解、リスク評価とリスクコミュニケーションなどがある。効果的な放射線防護プログラムには臨床の専門職と放射線防護の専門職とのチームワークが必要になる。

4.1 血管手術

(60) 近年、血管治療は開腹手術から血管内治療へのパラダイムシフトを経験している。血管内治療は、通常 X 線透視での画像誘導を必要とする。その結果、血管外科スタッフと患者の間で放射線被ばくが増加している。EVAR（Endovascular Aneurysm Repair；血管内動脈瘤修復術）時の放射線被ばくは、末梢血管形成術のような末梢動脈治療介入時の被ばくより大きい（Ho ら, 2007）。

(61) EVAR は腹部大動脈瘤の選択可能な治療法として広く受け入れられており、同様の手技を腹部大動脈瘤破裂に使用することに関心が高まっている。2001 年から 2006 年までの米国の入院患者のサンプル・データを対象とした最近の研究によれば、腹部大動脈瘤破裂に関連した退院約 27,750 例のうち 11.5% は EVAR で治療されている（McPhee ら, 2009）。腹部大動脈瘤破裂の割合は全体としては一定であるが、EVAR の使用は徐々に増加している（2001 年には 5.9%、2006 年には 18.9%）。米国で毎年行われている動脈瘤修復術の中で EVAR が選択される割合はおよそ半分を占めている（Cowan ら, 2004）。技術が進化するにつれ、より多くの患者に有窓グラフトや分岐グラフトのような複雑な修復が施行される可能性がある。

(62) 診療の仕方は国によってそれぞれ異なる。多くの医療機関で長期の中心静脈ラインの留置を X 線透視ガイド下で行っている。医療機関によっては腎動脈形成術と腸骨動脈形成術も血管外科医が行っている場合がある（Miller ら, 2003 a,b）。

4.1.1 放射線量レベル

患者の線量

(63) 血管内治療手技は長い透視時間を必要とするため患者と従事者の放射線被ばくが増える。EVAR時の入射皮膚線量は一般的に0.85 Gyで、0.51–3.74 Gyの幅がある(Weerakkodyら, 2008)。腹部大動脈瘤修復の平均面積線量積(dose-area product: DAP)は、1516 Gy \cdot cm²(範囲は520–2453 Gy \cdot cm²)であることが報告されている(Weissら, 2008)。腎動脈分岐下腹部大動脈瘤に対する一般的なEVAR施行では患者に8.7–27 mSvの平均実効線量が伴う(Geijerら, 2005; Weerakkodyら, 2008)。EVAR後は動脈瘤の残存がないのを確認するために患者の継続的経過観察が必要になる。また、マルチ・スライスCTが依然として最新の標準的検査法であるため、これらの患者は生涯にわたって定期的に繰り返し放射線照射を受けなければならない、それが蓄積効果を及ぼす可能性がある。例えば、経過観察1年目の実効線量は79 mSvと推定されている(Weerakkodyら, 2008)。

(64) インターベンション手技ではがんについてのリスクだけでなく皮膚傷害の可能性もある。ある範囲の透視ガイド下手技に続いてそのような皮膚傷害が報告されている(ICRP, 2001)。現時点ではEVAR後の皮膚損傷の具体的な報告例を見つけることは難しい。しかし、外科医がより長い手術時間と透視時間を必要とするより複雑な手技を行えば放射線傷害のリスクは増加する(Weerakkodyら, 2008)。最近の研究は3分の1に及ぶ患者が一過性紅斑のしきい値である2 Gy以上の入射皮膚線量に被ばくしていることを示している。(Weerakkodyら, 2008)。

(65) 腹部大動脈瘤修復時における平均総透視時間は21分(範囲12–24分)であると報告されている(表4.1)。またその92%(平均)は標準的透視に使用され、8%は透視シネ撮影に費やされている(Weissら, 2008)。この著者らが使用した手法によると、総透視時間のうちおよそ49%は通常の視野で使用され、51%が拡大表示に費やされた。最大皮膚線量は透視時間とではなくDAPおよび体重指数とよく相関していることが示された。肥満患者の最大皮膚線量はそうでない患者の2倍である(それぞれ1.1 Gy対0.5 Gy)(Weissら, 2008)。

(66) 静脈アクセス手技による放射線量は低く、皮膚線量は通常1 Gyよりもずっと低い。しかしこれらの患者は比較的短い期間内に何度も同じ手技を繰り返すことが多くの場合必要となる(Stormら, 2006)。


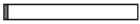


(67) 血管外科的手技による標準的患者線量を表4.1に示す。

(68) ほとんどの手技を包含し、視覚的にも意味のあるものとなるように実効線量の尺度を0–35 mSvとした。35 mSvという数字にはそれ以外の意味合いはない。

職業被ばく線量レベル

(69) EVAR時の職業被ばく線量として報告されている値には大きな幅がある。EVAR時の

表 4.1 血管外科的手技での通常の実効線量レベル（おおよその値）

手 技	患者の相対的 平均実効線量 0 mSv 35	患者の相対的 平均放射 線量 [†]	報告された値				参考文献 [‡]
			X線透視 時間 (分)	入射皮膚 線量 (mGy)	面積 線量積 (Gycm ²)	実効 線量 (mSv)	
血管内動脈瘤修復		F, G	21	330-850	60-150	8.7-27	a, b
静脈アクセス手技		B	1.1-3.5	8-24	2.3-4.8	1.2	c
腎動脈／内臓動脈血管 形成術（ステント使 用／ステント不使用）		G	20.4	1442	208	54	d, e
腸骨動脈血管形成術 （ステント使用／ステ ント不使用）		G	14.9	900	223	58	d, e

[†] A, <1 mSv; B, 1- <2 mSv; C, 2- <5 mSv; D, 5- <10 mSv; E, 10- <20mSv; F, 20-35 mSv; G, >35 mSv, 実効線量に基づく値

[‡] (a)Weerakkody et al., 2008; (b) Geijer et al., 2005; (c) Storm et al., 2006; (d) Miller et al., 2003 a; (e) Miller et al., 2003 b.

等価線量に関し外科医の手が被ばくする年間線量は0.2 mSv から 19 mSv の幅がある（Lipsitz ら, 2000; Ho ら, 2007）。このような大きな差があるのは医療機関によっては自立式またはテーブル搭載型の鉛遮蔽を追加で使用していることによると思われる。適切な防護具が使用されている医療機関では、年間全身線量（実効線量で表される）はおおよそ0.2 mSv となり、眼の年間線量は作業量150手技/年あたりおおよそ1 mSv である（Ho ら, 2007）。外科医の全身、眼および手の平均線量はそれぞれ7.7, 9.7 および 34.3 μSv/手技である（Ho ら, 2007）。

4.1.2 放射線量管理

(70) 上記の放射線量レベルと多くの患者が経過観察検査と放射線被ばくを伴う手技を必要とするという事実からすると、患者と従事者の放射線量管理は効果的な放射線防護プログラムを通してのみ達成できる困難な課題である。

患者の線量管理

(71) 標準的な腎動脈分岐下 EVAR 時には放射線源（X線管）は患者に対しての位置どりで頻繁に動かされる。患者の組織反応または確率的影響のリスクは最小限にとどまる（2章参照）。有窓式または分岐ステントグラフト留置を行う場合、大動脈の複数の内臓分枝動脈へのカニューレ挿入とステント留置が必要となる可能性がある。これらの操作は長時間を要しX線ビームの位置変更は最小限であると考えられる。したがって、これらの手技実施時には特に4血管有窓式グラフトの場合、組織反応や確率的影響のリスクが大きくなる。それに応じて患

者には助言が行われるべきである。エンドリーク（血液の漏れ）の治療には手技を繰り返し行う必要があり、ステントグラフトを生涯にわたりモニタリングするためCTスキャンが必要であることから被ばく線量は高くなる。

(72) X線透視ガイド下での静脈アクセス手技はIVR手技で一般的に使われるひとつである。単回静脈アクセスの症例における通常の放射線量は比較的lowく、検討されたすべてのケースで線量が皮膚効果（組織反応）のしきい値未満にあることが報告されている一方、これらの手技は短期間に同じ患者に繰り返されることが多い。経験豊かな術者が静脈アクセス手技を行った場合、放射線量が低くなりえることを示す根拠がある。したがって、かなりよく訓練された術者が透視ガイド下静脈アクセス手技を実施した場合には皮膚損傷の懸念を生じさせるほどの線量をもたらすとは考え難い。それでも術者は、確率的影響の将来的リスクを含め電離放射線の累積的な健康への影響についてよく認識しておくべきである（Stormら, 2006）。

(73) 3章で述べた線量管理についての措置は一般的に血管外科的手技にも適用される。

職業被ばく線量管理

(74) いくつかの特定の手技による、あるいは術者による要因がEVAR時において放射線量全体を低減する可能性がある（Hoら, 2007）。以下にその例を挙げる。

- 術者は留置直前にステントグラフト位置を確認するため行うシネ撮影を1回ですませることを目指すべきである。解剖を評価し、ステントグラフト位置決めを計画するために最初にもシネ撮影を行う必要はめったになく、患者の線量と職業被ばく線量を増やすことになるためシネ撮影の反復は避けるべきである。
- 手を放射線ビームの内に入れてはならない。手が一次X線ビーム内に入っていると、鉛入り外科用手袋では手の防護に役立たない。他の放射線防護ツールは有効であるが、スタッフにとって身体的な不快や手技の効率低下などの欠点もある。15-30%程度の放射線減衰効果のある滅菌防護外科用手袋が販売されているが、これまでの研究によれば、一次X線ビーム内に手を置いた場合それらの手袋で得られる手の防護にはいくつかの理由により最小限の効果しかない。手袋内での前方および後方散乱X線は手の被ばくを増加させる。そのうえ透視自動輝度調整領域内に減衰材が存在することでX線調整要素（の値）が増え、手がより高い線量率で被ばくすることになる。これらの要因は、間違った安心感により結果として一次ビームに曝される時間が増えることともあいまって、手袋により得られると期待される防護を打ち消してあまりある。以上のことから、新しい防護具のさらなる開発が望まれる。患者の安全にとって不可欠でない限り、手を一次X線ビーム内に入れないようにすることが推奨される（Schueler, 2010）。放射線減衰外科用ドレープは、手技、術者の身長、ドレープ自体の位置などによって若干差はあるものの、スタッフの放射線量をかなり引き下げ、患者の追加放射線被ばくもほぼゼロか最小限にできることが報告されている（Kingら, 2002）。

- 透視台に設置された鉛遮蔽の使用とポータブル鉛遮蔽はスタッフの実効線量全体を引き下げる。

(75) 上述の具体的な器具に加えて、3章で記述したすべての標準的な設備要因（例えばビームの絞り、フィルタ使用、設備の定期的修理、SIDの最小化、視野サイズ）が血管手術における職業被ばくを低減し得る。

4.2 泌尿器科

(76) X線はおよそ100年間、腎臓と尿路の病気を診断するために使用されてきた。X線は尿路を視覚化し、尿流を妨げている可能性のある腎結石や腫瘍を発見することができる。経静脈性腎盂造影（「経静脈性尿路造影」とも言われる）などの尿管を直接造影しないで行う手技やヨード造影剤の静脈内投与を伴う手技はふつう放射線科医が行う。造影剤を直接泌尿器系に投与する場合は必ず泌尿器科医がより積極的に介入する。過去には膀胱造影、逆行性腎盂造影、排泄性膀胱尿道造影は、放射線科施設で行われる一般の手技であった。これらの手技はまず膀胱をヨード造影剤で満たすため尿道へカテーテルを挿入する。次にX線透視撮影装置で手技実施中に造影剤の画像を捕えて解剖学的な詳細を調べるか尿排泄の動態を調べる。今日では経静脈性腎盂撮影は多くの国でまれにしか行われておらず、CTに代替されている。経皮的腎石摘出術、腎瘻造設術、尿管ステント留置、結石除去、腫瘍アブレーションなどのいくつかの手技の出現により、X線透視装置を泌尿器科医がより簡単に（場合によっては、手術室内でさえ）利用できるようにする必要性が生じている。

(77) さらにここ数十年で、碎石術〔体外衝撃波結石破碎法（extracorporeal shock wave lithotripsy; ESWL）〕が腎臓と尿管の結石を治療する一般的な手技となっている。碎石術のために開発された装置はほとんどが、結石の位置確認のためにX線か超音波を使用する。これらの装置は、皮膚と組織を通して体の外でつくられた超音波または衝撃波を、石に突きあてることによって機能する。石は砂のような小片に粉碎され、尿とともに簡単に通過できる。

(78) 尿路検査と腎臓検査は、透視ガイド下診断およびインターベンション手技のそれぞれ、16%と1.6%を占めており、尿路手技の平均実効線量は2 mSv、腎臓手技の平均実効線量は5 mSvである。集団線量全体に占める割合はおよそ5%である（NCRP, 2009）。

(79) 泌尿器科での放射線防護を扱っているほとんどの論文は、従事者の放射線リスクに焦点を当てている。泌尿器科の手技における患者の放射線量を推定した研究はほとんどない。従事者は何年も放射線を用いて働くが、患者は生涯を通じて2,3回放射線手技を受けるだけであるとはいえ、従事者は通常患者に照射する放射線強度の1%以下の散乱線に被ばくするだけであることを想起すべきである。さらに従事者は鉛エプロンによって防護され、放射線被ばくはさらに、標準的1%という数字からほぼ90%低減する。手技1回あたりでは、これは患者

が被ばくする放射線量のおよそ0.1%になる。

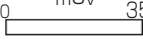
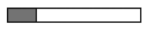
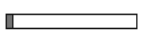
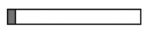
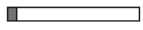

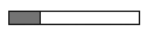
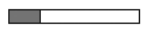
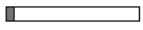
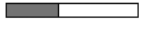

4.2.1 放射線量レベル

患者の線量

(80) 泌尿器科手技による標準的線量値を表4.2に示す。

(81) 急性腎結石症例について行われる放射線検査は、経過観察初年度に1,2回の腎臓・尿管・膀胱（KUB）の腹部単純撮影，1,2回の腹腔骨盤CT検査，経静脈性腎盂造影などの患者に対する一定範囲の放射線手技から構成されると思われる。そのような検査による総実効線量は、20から>50 mSvの範囲を取ると思われる（Ferrandinoら，2009）。CTの利用が増えるにつれて、多くの尿路結石の患者が急性結石の症状発現や疾患の治療期間中比較的高い電離放射線量に被ばくする可能性があると言える（ManciniとFerrandino，2010）。しかしながら、診断と経過観察時において線量管理を適切に行えば大幅な線量低減の可能性はある。

表 4.2 泌尿器手技による標準的患者の線量レベル（おおよその値）

手 技	患者の相対的 平均実効線量 mSv 0  35	患者の相対的 平均放射 線量* 線量*	報告された値				参考文献‡
			X線透視 時間 (分)	入射皮膚 線量 (mGy)	面積線量積 (Gycm ²)	実効線量 (mSv)	
経静脈性尿路造影／ 経静脈性腎盂造影		C, D	—	3.3-42	2-42	2.1-7.9	a, b, c, d, e
膀胱内圧測定		B	—	/	7	1.3	b
膀胱造影		B	—	/	10	1.8	a, b
排泄性尿路造影／排 尿時膀胱尿道造影		C	—	/	0.43-9.9	1-3	a, b, f
尿道造影		B	—	/	6	1.1	a, b
経皮腎石摘出術		C, D	6-12	1-250	14-29	1.9-9.2	g
腎瘦造設		D	1.3-20	/	30 [†] (5-56)	7.7 [†] (3.4-15)	a, h, i
体外衝撃波結石破砕法		B	2.6-3.4	40-80	5	1.3-1.6	j
腎臓ステント挿入		E	/	/	49	13	a
尿管ステント留置		C	/	/	18	4.7	a

—：該当するデータなし

[†] 平均値

‡ (a) UNSCEAR, 2010; (b) NCRP, 2009; (c) European Commission, 2008; (d) Fazel et al., 2009; (e) Yakoumakis et al., 2001; (f) Livingstone et al., 2004; (g)

Safak et al., 2009; (h) Miller et al., 2003 b; (i) McParland, 1998; (j) Sandilos et al., 2006.

* A, <1 mSv; B, 1- <2 mSv; C, 2- <5 mSv; D, 5- <10 mSv; E, 10- <20 mSv; F, 20-35 mSv; G, >35 mSv, 実効線量に基づく値

(82) CTは従来のX線撮影や経静脈性尿路造影に比べ放射線被ばくが高いにもかかわらず、新しい尿路評価方法として世界の多くの医療機関で従来の手技に取って代わりつつある(ICRP, 2007 a)。従来の尿路造影とCT尿路造影を比較すると、CTの線量低減方策を用いてもCT尿路造影の実効線量が大幅に高くなることが報告されている(Nawfelら, 2004; Dahlmanら, 2009)。これらの知見は、画像撮影プロトコルを作成するには患者の線量推定値を考慮に入れる必要があることを示唆している(Nawfelら, 2004; Eikefjordら, 2007; ICRP, 2007 a)。腎臓痛の患者の検査では単純CTのほうが排泄性尿路造影より正確であり、より高い診断精度が得られる好ましい手技であることを報告している研究がいくつかある(Tackら, 2003; Eikefjordら, 2007)。適切なCT腎結石プロトコルを採用すれば大幅な線量低減が実現することを示す根拠がこの10年間に報告されている。低線量腎臓CTプロトコルの評価に焦点を当てた研究は、この低線量プロトコルでは、放射線量が排泄性尿路造影に伴う線量とほぼ同等であると結論づけている(Tackら, 2003; Larsenら, 2005)。Dahlmanら(2009)はCT尿路造影を受けている患者の実効線量は1997年には女性29.9と男性22.5 mSvであったが、2008年には11.7と8.8 mSvへと60%低減したと報告している。すべての研究で、許容できる画質レベルを維持しながらかなりの線量低減が達成できると結論づけられている。放射線防護の最適化の原則に従い、臨床上の適応に基づいて技術的パラメータを適合させることが重要である(ICRP, 2007 a)。したがって、技術の改善と臨床レベルでの防護の最適化によって線量低減に向かう傾向が将来も続くことが期待される。

(83) X線透視とX線撮影を通じたESWLの患者の実効線量は通常<1-2 mSvであり、そのほぼ50-78%が透視によるものである(Hudaら, 1989; MacNamaraとHoskins, 1999; Sandilosら, 2006; UNSCEAR, 2010)。しかし、ESWLによる線量には治療前や治療後のKUB(kidney ureter bladder; 腎尿管膀胱単純X線撮影)および経静脈性尿路造影による線量が常に加わるものであることを想起すべきである(Sandilosら, 2006)。他の泌尿器科手技については標準的実効線量の範囲は腹部X線撮影の<1 mSvから、腎臓造設術の平均およそ7 mSvまでがある。

(84) 腎臓造設術のチューブ留置は、経皮的ドレナージを行うために腎臓の腎盂に針を留置することによって行われる。この手技は、一般的に10分から15分のX線透視(報告されている範囲は1分から56分)が必要であり、特に留置チューブ角度設定が困難な場合には線量が比較的高くなることがある(NCRP, 2000; Millerら, 2003 a)。一部の患者では、腎臓造設術チューブ留置が適切に行われているかの確認を得るため繰り返し検査を行うことが必要になる場合もある。腎臓造設術による標準的実効線量は7.7 mSvであり、その範囲は3.4-15 mSvである(Sandilosら, 2006; UNSCEAR, 2010)。

職業被ばく線量レベル

(85) 経皮的腎石摘出術を行う泌尿器科医の平均実効線量は1手技あたり12.7 μSv である(Safak ら, 2009)。標準的实施件数が平均で5手技/週とすると、これは泌尿器科医が3 mSv/年の実効線量に被ばくすることを意味する。上記の実施件数では指の線量は8-25 mGy/年(30-100 μGy /手技)、頭頸部の線量はそれぞれ5-10 mGy/年(20-40 μGy /手技)と考えられる(Hellawell ら, 2005)。Bush ら(1985)は平均的なX線透視時間は25分(範囲6-75分)であり、鉛エプロンの上のカラー(襟)レベルで測定した放射線科医の平均放射線量は0.10 mSv/手技(範囲0.02-0.32 mSv/手技)であったと報告している。看護師、CアームX線透視装置で補助する放射線技師/レントゲン技師および麻酔科医の線量は、それぞれ0.04 mSv/手技(範囲は0.01-0.11 mSv/手技)、0.04 mSv/手技(範囲は0.01-0.11 mSv/手技)、0.03 mSv/手技(範囲は0.01-0.1 mSv/手技)であった(Bush ら, 1985)。泌尿器科医の指の線量は通常0.27 mSv/手技(範囲0.10-2 mSv/手技)である(Bush ら, 1985; Kumari ら, 2006)。

(86) X線管と画像検出器の位置によって若干異なるが、下肢の放射線量は126-167 μSv /手技以上に高くなることがある(Hellawell ら, 2005; Safak ら, 2009)。しかし、予測される年間の実施件数が250例の場合には被ばく線量はおよそ40 mSvである。ちなみに四肢の線量限度は500 mSvである(ICRP, 2007 b)。

(87) 泌尿器科医の頭頸部について報告されている線量レベル(0.10 mSv/手技)(Bush ら, 1985)に基づけば、標準的实施件数を250手技/年とした場合の防護具なしでの眼の水晶体の放射線量は25 mSvに達する可能性があり、これは心血管インターベンションにおけるスタッフで観察された水晶体混濁の最近の報告例を考慮すると、眼の防護が必要である(Ciraj-Bjelac ら, 2010; Vaňo ら, 2010)。防護具を適切に使用すれば、職業被ばく線量を組織反応が避けられるレベルにまで十分に下げることができる。泌尿器科医の1手技あたりの平均等価線量は指が33 μSv 、眼が26 μSv 、全身実効線量が12 μSv である(Safak ら, 2009)。250手技/年の典型的な実施件数ではスタッフの全身職業被ばく線量は3 mSvに達するが、これは職業被ばく線量限度よりもはるかに低い。

(88) 上記の放射線防護措置はX線を使用するすべての泌尿器科手技および腎臓への手技にあてはまる。

4.2.2 放射線量管理

患者線量の管理

(89) 泌尿器科医はX線透視を必要とする泌尿器科手技から患者が得られると予想される臨床的便益と、それに付随する放射線リスクとを比較考量することが必要である。これは委員会の正当化の原則と一致している。いったん妥当であるとされれば、本巻で述べられている手技やその他利用できる手法を使って委員会の放射線防護の最適化の原則にしたがって手技を実

施することが術者の責任となる。最も効果的な放射線防護要件の1つは不必要な検査や手技を避けることである。

(90) 画像検出機器によっては画質を維持しながら患者線量を減らせる見通しが出てきた。その最たるものがデジタル画像検出器を使った画像診断法である。尿路膀胱造影では輝尽発光プレートを使うことにより、フィルム-増感紙システムに比べ大幅な線量低減が実現できることが Zoeller ら (1992) によって報告されている。フィルム-増感紙システム X 線撮影にはフォトタイマーで 77 kVp の管電位が使われていた。輝尽発光プレートを使用し十分な画質を達成するために、81 kVp と 6.4 mAs の照射パラメータ設定が使われた。

(91) ESWL を行う際には結石量が増えると放射線被ばくも増加する。大きな石になるほど治療時間は長くなり、おそらくはそれに伴って X 線も増加する。診断時と経過観察時にいて可能で、かつ適切なかぎり腎臓、尿管、膀胱の片側 X 線撮影 (hemi-KUB) を行えば、ESWL に伴う放射線照射は大幅に減らすことができる (Talati ら, 2000)。また石の位置を特定するために超音波を使用することにより、X 線を使って石の位置を特定する場合に比べて患者の線量を大幅に低減できると期待できる。超音波による位置特定と X 線による標準的実効線量レベルはそれぞれ 0.25 mSv と 1.2 mSv であることからすると、4 分の 1 から 5 分の 1 まで線量を低減できると期待される (MacNamara と Hoskins, 1999)。標準的 ESWL 手技ではおよそ 2.6 分から 3.4 分の X 線透視時間と 4 枚から 26 枚のスポットフィルム撮影が必要になり、患者 1 人あたりの平均線量は 1.6 mSv となる (Carter ら, 1987; Sandilos ら, 2006)。3 章で述べた線量低減戦略はすべての泌尿器への手技および腎臓への手技に適用される。スポット撮影数の低減、最終画像保持機能の使用、術者の訓練などの放射線防護措置を導入することによって大幅な線量低減が得られるであろう。経験豊かな術者が ESWL 手技を行った場合の入射表面線量は、未熟な術者が行なった場合に比べおよそ 30% 低い (それぞれ 26.4 mGy と 33.8 mGy) (Chen ら, 1991)。また撮影数の低減は患者の体重に応じて 20-62% の線量低減につながる (Griffith ら, 1989)。

(92) 3 章で述べた線量管理措置は基本的に泌尿器科手技にも適用される。

職業被ばく線量管理

(93) 泌尿器科で最も一般的なほとんどの手技は本報告書に簡潔に述べている放射線防護原則、アプローチや手法を使用する限り、従事者の放射線被ばくをほとんど伴うことなく行うことができ、被ばく量は委員会が定める限度よりずっと低くできる。他方、放射線防護を使用しなければ放射線傷害や長期的なリスクがありうる。

(94) X 線撮影や診断的 CT 画像撮影では従事者は通常撮影室の外にあり、撮影室は十分に遮蔽されている。したがって従事者が被ばくする放射線量は非常に低い。しかし手術室では術者を含む 2,3 人のスタッフが X 線透視装置と同じ部屋にいるため、彼らははるかに高い放射線

レベルに被ばくする。適切な放射線防護手段が使用されていないと X 線透視室の中にいる従事者の放射線被ばくは重大なレベルに達するおそれがある。実際の被ばくは時間、作業量、遮蔽（例えば鉛エプロンとそれに付加される鉛ガラスの防護スクリーン）に依存する。

(95) 尿路内手技については泌尿器科医の線量率は最高 11 mSv/h であり、X 線透視ドレープの使用により線量が 70-96% 低減されると報告されている (Giblin ら, 1996; Yang ら, 2002)。したがって、泌尿器科医は放射線リスクを認識するべきであり、時間、距離および遮蔽の概念はきわめて重要である (3 章に記載されている)。

(96) 現時点では、(手術室を除く) いまだ多くの場合に X 線を使用する泌尿器手技にオーバーチューブ X 線管装置が使用されている。これらの装置の散乱放射線分布は眼の防護具を使用しなければ眼の水晶体の放射線量が問題になるレベルに達する。そのため従事者の個人用防護デバイスに加えてアンダーチューブ装置の使用が推奨される。

4.3 整形外科手術

(97) 整形外科の専門科は診断手段としてあるいはさまざまな手技時における技術的な助けとして X 線を広く使用する。整形外科医の間では X 線の使用は広く普及しているにもかかわらず、放射線とその使用に伴う関連したリスクが整形外科に文献で取り上げられるのはまれである。

(98) X 線は 20 世紀の初期から骨や関節の撮像に使用されてきたが、X 線透視による整形外科画像法が普及するのはそのずっと後のことである。1980 年代には X 線透視は整形外科の外傷の診療に携わる医師の間で重要な地歩を確立し、大腿骨ネイル固定時および股関節ピン刺入時における有用な手段として支持された (Giachino と Cheng, 1980; Levin ら, 1987; Giannoudis ら, 1998)。現在ではほとんどすべての整形外科専門分野でそれぞれのさまざまなニーズを満たすために X 線透視を採用している。整形外科の文献では C アーム X 線透視装置は解剖学的位置特定、骨折整復、インプラント留置、不整列の矯正、関節固定術、髓内骨固定-髓外骨固定関節注射、吸引その他無数の一般的手技に使われていることが報告されている。可動式 C アーム X 線透視装置の使用が広がるにつれ、それに応じる形で X 線透視が普及していった。数多くの活用における有用性と全体としての利便性により整形外科の日常の臨床診療における X 線透視の使用は一般的になっており、場合によっては不可欠ともいえる要素となっている (表 4.3)。

(99) 現在では手術を行う際、侵襲性を最小限に抑えることが多くの整形外科医のあいだで努力目標となっている。医学と企業の一体となった戦略により、新しい革新的技術が出現し、整形外科医は軟部組織の損傷とそれに伴う疾患はるかに少ない手技を行うことができるようになってきている。残念なことに、このような手術は関係する解剖学的な位置を確認するため

表 4.3 さまざまな整形手技において移動式 C アーム X 線透視装置を使用する療法

整形外科用途	C アーム X 線透視装置の使用
一 般	金属物の除去 異物／遊離物の除去
外 傷	解剖学的位置特定 診断（同側大腿骨頸部／骨幹骨折） 骨折整復（ギブス包帯・副子固定または外科的固定） 髄内釘固定 カーシュナー・ワイヤー／創外固定用ピン留置 経皮的金具留置（例：カニューレ付き／頭のないスクリュー、 低侵襲性プレート骨接合術など）
スポーツ	関節鏡検査のための関節挿入の誘導 許容可能なインプラント留置の位置確認 （例：遠位二頭筋修復） （例：前十字靭帯（ACL）、後方十字靭帯（PCL）、内側側副靭帯 （MCL）、後方靭帯複合体／外側側副靭帯（LCL）再建） 骨切除の深さと範囲の評価
脊 柱	外傷 レベル（髄節）確認 変形矯正
手／上肢	外傷 骨切除範囲適正評価 変形矯正 解剖学的位置特定
腫 瘍	経皮的生検 嚢胞吸引 診断（隣接した病変） 骨折整復およびインプラント留置 ラジオ波焼灼療法
足／足関節	外傷 変形矯正 骨切除範囲適正評価
関節再建	インプラントの位置／固定の評価 肢アライメント／関節ラインの評価

の間接的視覚化への依存を高めることとなった。そのため患者と外科チームの放射線被ばくはそれを追求するのに応じて増加した。「合理的に達成可能なかぎり低く」という理念を重視する整形外科医もいるがすべての整形外科医がそうだというわけではなく、これは望ましいことではない。臨床医、ましてや教育機関にいる臨床医は、放射線の安全性に対する態度が研修医に伝えられていくことに留意すべきである。患者と職業被ばく防護に対する責任感が必要である。

(100) 現時点では、関節造影、整形外科領域および関節撮影手技は米国でのすべての X 線透視ガイド下手技の 8.4% を占めており、患者の平均実効線量は 0.2 mSv/手技で集団線量全体

の0.2%を占めている (NCRP, 2009)。同様に、英国でも整形外科のさまざまな撮影手技によって1手技につき2,3 μSv から1 mSvの実効線量が生じており、これによる総集団線量に対する寄与度は<1%である (Hart と Wallm, 2002)。

4.3.1 放射線量レベル

患者の線量

(101) 患者はX線ビームに直接照射されることによって放射線に被ばくする。この被ばくは従事者に届く散乱放射線よりもはるかに強度が高い。とはいえ、整形外科患者は血管または心臓へのインターベンション手技を受けている患者とは違い、組織反応を呈するリスクは低い。表4.4は、さまざまな整形外科手技実施時の標準的X線透視時間と患者の放射線量を示している。

(102) 広く行われている手技(転子部骨折の髓内釘固定、果部骨折の観血式整復と内固定、大腿骨骨幹部骨折の髓内釘固定)の平均X線透視時間はそれぞれ3.2分、1.5分、6.3分と報告されている。また、推定平均入射皮膚線量はそれぞれ、183, 21, 331 mGyと報告されている (Tsalafoutas ら, 2008)。

(103) 外科的治療をうけた大腿骨折患者の標準的実効線量は11.6-21.7 μSv である (Perisnakis ら, 2004)。近位転子部骨折の骨接合術をうけた場合の患者の実効線量は平均14 mSvであり、下肢骨折の患者の平均実効線量は0.1 mSvであることが報告されている (Suhm ら, 2001)。

(104) 整形外科的外傷を担当する外科医はしばしば骨盤骨折を安定させる責務がある。CアームX線透視法は骨折整復と主要な神経血管構造隣接部へのインプラント留置の誘導を行うため外傷外科医にとって不可欠である。骨盤X線透視を行なった場合、骨盤の断面直径が大きいことをから考えると患者と外科医の大きな被ばくにつながる可能性がある。骨盤ファントム透視での被ばくデータが収集されており、入射表面で一次ビームの線量率がかなり高いことが示されている (40 mGy/分) (Mehlman と DiPasquale, 1997)。他の研究では大腿骨折または脛骨骨折の釘固定時の患者の入射皮膚線量は183 mGyで、平均X線透視時間は3.2分であることが報告されている (Tsalafoutas ら, 2008)。この同じ研究では腰椎と頸椎にそれぞれ椎弓根スクリューを刺入した時の患者の被ばくを調べている。これらの症例の手術時間は平均<1-7.7分であり、これによる腰椎と頸椎の平均入射表面線量はそれぞれ46および173 mGyである。付随する線量範囲は、それぞれ18-118および5-407 mGyであった (Tsalafoutas ら, 2008)。

(105) 別のある研究は、平均的な椎弓根スクリュー刺入手技では前-後方向および側方向のそれぞれで1.2分と2.1分のX線透視照射が必要となり、DAPはそれぞれ、2.32 Gy cm^2 および5.68 Gy cm^2 であったと報告している。また、X線透視ガイド下椎弓根スクリュー内部固

表 4.4 さまざまな整形外科手技による標準的な患者の線量レベル（おおよその値）

手 技	患者の相対的 平均実効線量 mSv		患者の相対 的平均放射 線量* 線量*	報告された値			参考文献 [‡]	
	0	35		X線透視 時間(分)	入射皮膚線 量(mGy)	面積線量積 (Gycm ²)		実効線量 (mSv)
頭蓋骨			A	—	—	—	0.1	a
頸椎			A	0.2-0.8	—	0.42-1.3	0.1-0.2	a, b
胸椎			A, B	0.85	—	3.26	0.3-1.0	a, b
腰椎			A, B	0.10-1.4	—	0.54-10	0.07-1.5	a, b
骨盤			A	—	—	—	0.6	a
股関節			A	0.020-1.15	—	0.64-2.6	0.10-0.74	a, b
肩関節			A	—	—	—	0.01	a
膝関節			A	—	—	—	0.005	a
他の四肢			A	—	—	—	0.001	a
手/手関節			B, C	0.20-0.55	0.08-1.1	0.04-0.22	<0.004	b, c
遠位橈骨プレート骨接合	—	—	—	1.8 [†]	17 [†]	—	—	d
果骨折の骨接合	—	—	—	1.5 [†]	21 [†]	—	—	d
脛骨平坦部骨折のプレート骨接合	—	—	—	1.2 [†]	35 [†]	—	—	d
前十字靭帯 (ACL) 再建のための関節鏡挿入	—	—	—	0.9 [†]	19 [†]	—	—	d
脛骨髄内釘固定	—	—	—	5.7 [†]	137 [†]	—	—	d
大腿骨幹骨折の髄内釘固定	—	—	—	6.3 [†]	331 [†]	—	—	d
転子部骨折の髄内釘固定	—	—	—	3.2 [†]	183 [†]	—	—	d
腰椎両側椎弓根スクリュー挿入	—	—	—	0.8 [†]	46 [†]	—	—	d
頸椎両側椎弓根スクリュー挿入	—	—	—	4.2 [†]	173 [†]	—	—	d
椎体形成術			D, E	5-16	70-323	—	8.5-13	d, e, f
後彎形成術			C, D	10.1	320 [†] (50-860)	—	4.3 [†] (0.47-10)	f, g

—：該当するデータなし

† 平均値

[‡] (a) Mettler et al., 2008; (b) Crawley and Rogers, 2000; (c) Giordano et al., 2007; (d) Tsalafoutas et al., 2008; (e) Miller et al., 2003 a; (f) Seibert, 2004; (g) Boszczyk et al., 2006.

* A, <1 mSv; B, 1- <2 mSv; C, 2- <5 mSv; D, 5- <10 mSv; E, 10- <20 mSv; F, 20- 35 mSv; G, >35 mSv, 実効線量に基づく値

定手技を実施した患者の実効生殖腺線量および入射皮膚線量の男女別正規化データが導き出されている。平均的手技による実効線量は、女性患者、男性患者それぞれ 1.52 および 1.40 mSv であり、生殖腺の線量はそれぞれ 0.67 mGy および 0.12 mGy であった (Perisinakis ら, 2004)。侵襲性を最小にする脊柱手技にはインプラント留置を容易にするため間接的視覚化が必要となる。直観的には、この手技により長い手技時間が必要になれば、それに付随して直接放射線被ばくと散乱線被ばくも大きくなると思われる。患者の皮膚の平均線量は後-前方向で 60 mGy (範囲 8.3-252 mGy)、側方向で 79 mGy (範囲 6.3-270 mGy) である (Bindal ら, 2008)。概して言えば、すべての整形外科処置時の X 線透視による集団線量のほぼ 90% は 5 つのカテゴリーの検査に帰することができる。すなわちダイナミックヒップスクリーやキャニユレイティドヒップスクリー固定針による骨折治療、股関節部注射、腰椎固定術および腰椎椎間板切除術である。実際、股関節と脊柱はこれらの一般的な整形外科手技による集団線量全体の 99% を占めており、線量低減戦略の明らかな標的となっている (Crawley と Rogers, 2000)。

職業被ばく線量レベル

(106) C アーム X 線透視撮影装置を使用する整形外科医が受ける職業放射線被ばくは、通常、委員会が勧告している線量限度よりもはるかに低いレベルであることが数多くの研究によって確立されている。さまざまな整形外科手技時に報告されている線量は、通常年間職業被ばく限度の国際基準をかなり下回っている (Jones ら, 2000; Singer, 2005; Giordano ら, 2007, 2009 a)。しかし、多くの専門職者は日常的に自身の個人線量計を使用していないため、従事者の放射線量に関する実際の信頼できるデータが欠如している。整形外科医が受ける被ばくの大半は散乱放射線によるものであるが、一次 X 線ビームに被ばくすることもある。最も一般的な整形外科手技の 1 つである転子部骨折の髓内釘固定術を行っている外科医の手、胸、甲状腺、眼、生殖腺、脚部において生じる標準的散乱放射線量レベルは、平均でそれぞれ 0.103, 0.023, 0.013, 0.012, 0.066, 0.045 mGy/分である (Tsalafoutas ら, 2008)。204 の手技における手、胸、甲状腺、眼、生殖腺、脚部の累積的線量はそれぞれ 72, 16, 9.4, 8.3, 46, 31 mGy となる。防護エプロンと防護カラーを使用した場合、実際の実効線量は個人線量計読み値のごく一部にすぎなくなる (およそ 10%) (Tsalafoutas ら, 2008)。

(107) 患者からの距離に応じて若干の差はあるが、報告されている X 線透視ガイド下整形外科足関節手術時のミニ C アーム装置による外科医と補助スタッフの眼と甲状腺の放射線量は 0.36 から 3.7 μ Gy/分の間である (Mesbahi と Rouhani, 2008)。中心ビーム軸からの距離を 20 cm から 60 cm に遠ざけると、散乱放射線の線量率が 10 分の 1 に低下する。標準的な 5 分の手技を年間 250 回行った場合、放射線防護措置を講じると遮蔽なしでの眼の水晶体の等価線量は <5 mSv である。

(108) 手の手術で手術中に C アーム X 線透視撮影装置を使用するのは一般的である (表

4.3)。標準的なCアーム装置とミニCアーム装置の両方が使用される。指、手、手関節の手術的治療を必要とする選択的手技時の外科医の被ばくが予測よりも高いことを示すデータが報告されている (Singer, 2005)。ミニCアームX線透視撮影時の外科医の手の線量が<10から320 μSv /件にわたることが報告されている (Singer, 2005; Giordano ら, 2007)。外科医の被ばくは主に、四肢位置決め、インプラント留置、骨のアライメントが許容できるかどうかの確認時にX線ビームに触れることによる直接的被ばくの結果として生じられると思われる。他方、散乱線による放射線は低いことが報告されている。手の手術時にミニCアーム装置を使用している場合の胸の高さの標準的線量率は外科医の位置に応じて、4から20 $\mu\text{Gy}/\text{h}$ の間である。標準的Cアーム装置を使用した場合の線量率は通常230 $\mu\text{Gy}/\text{h}$ である。ミニCアームX線透視装置と標準的CアームX線透視装置の対応するビーム内放射線量はそれぞれ37 mGy/h と65 mGy/h である (Athwal ら, 2005)。

(109) 死体標本を使って大型CアームX線透視撮影装置とミニCアームX線透視撮影装置を用いた模擬足/足関節手技時に患者と外科医が受ける被ばくデータが発表されている (Giordano ら, 2009 b)。患者と外科医の線量レベルの変動がCアーム弧内の標本の位置とX線管からの外科医の距離に依存することが報告されている。足/足関節手技時の外科医の被ばくは撮影時の配置がどのような場合でも総じて低いことが確認された (Gangopadhyay と Scammell, 2009; Giordano ら, 2009 b)。X線ビームから20 cm離れたところでミニCアームX線透視撮影装置で足/足関節標本を撮影した場合の平均線量率が2.4 $\mu\text{Gy}/\text{分}$ であることが報告されている (Badman ら, 2005)。距離が延びるにつれて3章で述べられたように線量率は逆二乗則に従って低減する。外科医のビーム軸からの標準的な位置は30 cmであり、第一の助手の標準的位置は70 cm、手術室看護師では90 cmであり、眼の高さでの対応する散乱線量率は外科医では0.1 $\text{mSv}/\text{分}$ 、第一助手では0.06 $\text{mSv}/\text{分}$ 、看護師の場合は無視できる程度である。これはビームから ≥ 90 cmで働いているスタッフは被ばくする放射線量が非常に低いことを示している (Mehlman と DiPasquale, 1997)。

(110) 脛骨骨折および大腿骨折の髄内釘固定のような手技は平均1分から10分の手技時間を必要とする。その場合、保護具を使用しない状態での外科医の手、眼、胸の線量率はそれぞれ0.128, 0.015, 0.028 $\text{mSv}/\text{分}$ となる。これらの値は、1手技あたりの線量、0.44, 0.05, 0.10 $\text{mSv}/\text{件}$ と一致する (Sanders ら, 1993; Müller ら, 1998; Tsalafoutas ら, 2008)。そのような手技時における保護具なしの甲状腺の平均線量率は、0.016 $\text{mSv}/\text{分}$ または0.06 $\text{mSv}/\text{件}$ であり、X線透視時間は3.2分/件 (Tsalafoutas ら, 2008) である。

(111) 大腿骨折および脛骨骨折の髄内釘固定時の第一執刀医と第一助手の手の等価線量はそれぞれ、1.27と1.19 mSv であり、平均的X線透視時間は4.6分/件 (Müller ら, 1998) である。平均施行件数250手技/年とした場合、これは四肢線量300 mSv に相当する。この値は四肢の線量限度500 mSv よりかなり低い(2章)。

(112) 外傷治療時では、外科医が「ダメージコントロール整形外科」を施行することが必要になることがある。この状況下では患者の負傷の重症度と全体的な血行動態の不安定性が最も確実な固定処置遂行の妨げとなる。この場合患者は長い手術時間に耐えることができないと思われる。したがって、不安定な筋骨格負傷の外部固定が、許容できる骨のアライメントを達成し出血を低減する適切な応急処置となる。X線透視は骨のアライメントが適切であり、外部固定ピンが留置されていることを確認するのに使用される。外部の固定ピン留置時の被ばくは測定されており、全部で44手技の外科医の指の累積等価線量は48 μSv から2329 μSv であることが確認されている。手技の80%において、外科医の手の放射線量は $<100 \mu\text{Sv}$ (Goldstoneら, 1993)であった。Nordeenら(1993)は負傷した患者の診療に関与する整形外科医の毎月の放射線量レベルは全身の線量が1.25 mSv, 眼の線量が3.75 mSv, 四肢の線量が12.5 mSvであると報告している。手の線量はわずかに高く3.95 mSv/月であった。

(113) スポーツ医学の専門家や関節鏡検査を行う外科医は手術時に補助の手技としてCアームX線透視を普通は使う必要はない。関節鏡または切開手術でのほとんどの手技は直視下にて行われる。それにもかかわらず、靭帯再建の骨孔穿孔時やインプラント位置が適切であることの確認のためにCアームX線透視を使用することを好む外科医もいる(Larsonら, 1995)。一般的にいて、CアームX線透視を使用した場合、靭帯の一次再建術は手術時のX線透視時間が少なく済み、一次同種グラフト再建術は最少限の放射線量ですむように思われる。そのような手技時における外科医の線量は測定されており、線量率は一様に低く0.7 $\mu\text{Sv}/\text{分}$ であることが報告されている(Larsonら, 1995)。標準的なX線透視時間が2.38分とした場合、外科医の平均実効線量は、16 $\mu\text{Sv}/\text{手技}$ で、250手技/年の治療件数に対して4 mSv/年となる。他の手技やインプラントを使った場合、外科医が被ばくする散乱放射線が低いことをさらなる研究が確認している(LarsonとDeLange, 2008; Tsalafoutasら, 2008)。

(114) 脊髄手術を行う整形外科医は、解剖学的レベルの特定、変形矯正時の骨のアライメント評価やインプラント留置などの目的でCアームX線透視を多用する。体の大きな部分が撮像され、これらの部位がイメージ増倍管の視野全体を占めるため患者と外科医の放射線被ばく量が増える可能性が高い。X線透視ガイド下で胸腰椎椎弓根スクリュー刺入を行う場合、脊髄外科医はX線透視撮影装置の使用を必要とする他の脊髄以外の筋骨格手技よりも大幅に高い放射線レベル(10-12倍)に被ばくする(Rampersaudら, 2000)。外科医の頸部と効き手の放射線量率はそれぞれ0.08と0.58 mGy/分である。外科医がX線ビーム源に対して側方に位置したときには胴の線量率は大きくなった(0.53 mGy/分, ちなみに反対側は0.022 mGy/分)(Rampersaudら, 2000)。椎弓根スクリュー固定時に標準的CアームX線透視を使用した場合、外科医は平均で0.58 mSv/分の平均線量率で被ばくすることが報告されている。このように被ばくが比較的高いため、放射線防護措置を厳格に実施することが必要である。

(115) 低侵襲性経椎間孔椎体固定術時に平均1.7分間のX線透視時間で1件につき外科医

が被ばくする平均等価線量は、利き手が0.76 mSv、鉛エプロンの下の腰部が0.27 mSv、防護具なしの甲状腺レベルが0.32 mSvである。低侵襲性脊髄手技である椎骨形成術と椎体形成術ではいずれも前後方向と側方向両方のリアルタイムの視覚化が必要であり、多くの場合バイプレーンX線透視撮影装置を使用する。実際、整形外科医の実効線量とリスクの90%は椎骨形成術によるもので、8%が脊髄手技によるものである(Theocharopoulosら, 2003)。鉛当量0.5 mmのエプロンのみを使用した場合、標準的な股関節、脊柱および椎骨形成術手技時に透視台脇で手技を行う整形外科医の実効線量は、それぞれ5.1, 21, 250 μ Svであった。甲状腺の遮蔽を追加することによって、標準的なこの実効線量は股関節、脊柱、椎骨形成術手技1件あたりそれぞれ2.4, 8.4, 96 μ Svに低下した。

(116) 頸椎の標準的CアームX線透視撮影を伴う手技を外科医が行なった場合、外科医は0.25-0.30 mSv/分の線量率で手に被ばくすることが報告されているが、これは腰椎(0.53-0.58 mSv/分)を対象とした手技よりいくぶん低い(Jonesら, 2000; Rampersaudら, 2000; Giordanoら, 2009 a)。

4.3.2 放射線量管理

患者の線量管理

(117) 整形外科の診断検査は画像撮影検査に大きく依存する。軟部組織または骨の解剖に対する感度はそれぞれ異なるがこれらの画像モダリティの多くは置き換えられる。他方で、位置特定、間接的視覚化または器具誘導を画像に頼る手技は、多くの場合、とりわけ電離放射線を使った画像に依存する。低侵襲性整形外科手技ではCアームX線透視撮影が直視することの代わりとなり、手技成功の必要条件となっている場合もある。手術中の放射線被ばくを低減する1つの方法として、一部では従来X線透視に大きく依存していた手技に代わって、超音波のような代替画像撮像を使用し始めている(Weissら, 2005; Huaら, 2009; Mei-Danら, 2009)。そのような撮像法の使用は十分に試されていないが、電離放射線を使う撮影手段に代わる有望な新しい選択肢となっている。

(118) 患者の被ばくは適切な放射線安全慣行を順守し、対象部位をイメージ増倍管に最も近づけて撮像すれば大幅に低減することができる(10分の1)ことが報告されている。外科的手技においてCアームX線透視撮影法を使用する場合、習熟曲線はかなり長いものになると予想される。ビームの向き、外科医の位置、画像最適化、その他の運用上の困難さにより、外科医がCアーム装置を最も効率的に利用できるようになるには時間がかかる。そのような外科的なケースでは透視時間はCアームX線透視装置の最適な使用を測定するための有用な尺度となりうる。

(119) 最近のデータは、ミニCアーム装置は患者と外科医の照射線量を制限することができるが、それでも使用時には注意をしなければならないことを示唆している(Giordanoら,

2007, 2008, 2009 a,b)。ミニ C アーム装置がむやみに使用された場合、外科医、患者と周囲のスタッフは、相当程度の散乱放射線に被ばくするおそれがある。ミニ C アーム装置を不注意に使えば同じ撮影状況下であっても大型 C アーム装置を使用した場合の線量を上回ることもさへある。したがって、ミニ C アームおよび大型 C アーム X 線透視撮影装置のいずれかを使用する場合にも防護用鉛入り装具の日常的使用を含めた厳格な放射線防護手技を順守すべきである。大型 C アーム装置に付随する懸念の多く、特に累積放射線障害、位置決め上の問題、ビームからの相対的距離、防護遮蔽器具の必要などに関連した懸念、を取り除くため、可能なかぎりミニ C アーム X 線透視撮影装置を使用すべきである (Badman ら, 2005)。

(120) 使用する撮像構成に応じて若干変動はあるが、ミニ C アーム装置を使えば患者の入射皮膚線量率を標準的な C アーム装置によるそれのおよそ半分にするができる。報告されている標準値は以下の通りである。死体の上肢を用いて手関節骨折の固定のための手関節手術が 0.60 mGy/分 (ミニ C アーム) に対し 1.1 mGy/分 (大型 C アーム) である (Athwal ら, 2005)。C アーム装置の使用で頻繁にみられるミスは画質を向上させるため照射パラメータを引き上げることである。しかしほとんどの撮影上の問題は輝度とコントラストを調節することで解決することができる (Athwal ら, 2005)。C アーム放射線源から撮影対象までの距離も放射線被ばく量を直接左右する。外科医は患者を意識的にできるだけ X 線源から離して撮影するよう努力すべきである。ミニ C アーム装置では、これは撮影する四肢をイメージ増倍管上に直接に置くことを意味する。標準的 C アーム装置を推奨される垂直位置で使用する場合、線源は SSD を最大化するため床まで下げるべきである (Athwal ら, 2005)。

(121) 撮影した部位の断面寸法または患者の組織密度が大きくなると患者と外科チーム両方の被ばくはそれにつれ急激に増加する。肉厚な部位は細い部位よりも多くの X 線を吸収するので均一な画像情報を得るには放射線を増強しなければならない。C アーム X 線透視撮影装置を「通常」モードにセットすると、はっきりとした画像が得られるよう (撮影の) 技術的ファクターが自動的に調整される。したがって、肉厚な部位を撮影するときには放射線発生量が大幅に増加する可能性がある。直接被ばくと散乱線被ばくの量が撮影する部位に応じて大きく変化することから、整形外科医にとってこの概念は重要である。撮影する四肢のサイズまたは組織密度が増加するにつれて、患者の直接的被ばくだけでなく外科チームの間接的な散乱線被ばくも著しく増加する (Giordano ら, 2007, 2008, 2009 a,b; Yanch ら, 2009)。この考えは既に述べたように脊髄手術を行う整形外科医に特に当てはまる。

(122) 脊髄手術を行わない整形外科医にも同じ原則が当てはまり、適切な安全予防措置を維持することがきわめて重要である。大型 C アーム装置を使った X 線透視検査では足/足関節部位を撮影するときの患者の放射線量は頸椎のときのそれに比べてほぼ 10 倍増えることが報告されている。一方外科チームの線量は 2 倍から 3 倍に増える (Giordano ら, 2007, 2008, 2009 a,b)。ミニ C アーム X 線透視撮影装置を同じ条件で使用した場合には患者の線量は 3 倍

から4倍に増加し、外科チームの線量は2倍に増加した。

(123) 最後に、3章で述べたすべての患者の線量低減措置は整形外科手術にもあてはまる。

職業被ばく線量管理

(124) X線は図3.7に示したように、直線的に進むほかさまざまな方向に散乱する。強度は逆二乗則に従って距離が長くなるにつれて低減される。整形外科手術室に関する研究では外科医がX線源から10 cmではなく90 cmの位置に立つことによって被ばくを1件あたり0.20 mSvから0.03 mSvに低減できると報告されている (MehlmanとDiPasquale, 1997)。これまでずっと外科医はX線源から少なくとも1.8 m離れて立っていれば放射線に被ばくするリスクは基本的にゼロであると教えられてきた (Tsalafoutasら, 2008)。これは正しくなく、X線源から6 m離れたところでも被ばくレベルが高いことを示す研究によってそれには異議が唱えられている (Badmanら, 2005)。

(125) 過去数十年の間に、ミニCアームX線透視撮影装置は放射線量を低減する可能性を持った便利な撮影装置となった。被ばくレベルがさまざまな整形外科手技や状況で検証されてきた (Athwalら, 2005; Giordanoら, 2007, 2009 b; Larsonら, 2008; Loveら, 2008)。一次ビームの外側におり画像の中に自分の体が映っていなければ、自身の被ばくが無視できる程度であると考えている一部の術者もいる。これはそのような助言を行っている研究に基づいているが、そのほとんどは理想的な状況下で実施されており、実際に遭遇するより現実的な施行状況はこれとは対照的である。外科医と手術チームの被ばくはX線ビームの向きによって変動することが示されている。時として外科医は整復を維持するため、また、インプラント留置を確保するためにX線ビーム近くに立たなければならない状況を避けられない。そのような状況では外科医は直接ビームに入ること、あるいは、散乱放射線による被ばくリスクにさらされるであろう。患者のイメージ増倍管側に立つことで、外科医の放射線量が劇的に低減することを示す報告もある (Rampersaudら, 2000)。実際、手術台の下にX線源を置くことによって、効果的なビーム阻止が得られる場合がある (Jonesら, 2000)。側方向または斜め方向でCアーム装置を使用する場合、外科医は散乱放射線による被ばくを低減するため、手術台のイメージ増倍管側で作業を行うべきである。完全にビームを遮断するほど大きな部位を撮影する場合にはこの作業方法が当てはまるかもしれないが、小さなサイズに合わせてビームを絞れないような小さな部位を撮影する場合には同じ原則が必ずしもあてはまらない可能性がある。こうした状況ではX線ビームの一部は減衰せずに被写体のそばを通り反対側に高い線量をもたらす。手術スタッフを安全な場所に配置するにはこのことを考慮に入れておくべきである。

(126) 鉛遮蔽は、散乱放射線による被ばくを低減する方法として広く使用されている。メーカーは鉛ガウンの厚みに応じて防護が変動することを言及している。一般に、鉛当量0.5

mm の鉛ガウンによって散乱線被ばくを 90% 以上低減できると期待することができる。実際には、散乱放射線を減衰する鉛入りの防護服の性能は、品質管理措置により鉛入りのガウンが適切に保守されているかどうか依存している。鉛によって得られる防護上の便益は、保守に不備があった場合損なわれるおそれがある。41 個の鉛エプロンを対象にした研究では、その 73% が公称鉛当量値の許容レベルである 5% から逸脱していたと報告している (Finnerty と Brennan, 2005)。さらに、米国整形外科学会による最近の報告書は鉛の内側での被ばくが鉛の外側の被ばくよりわずかに 30-60% ほど少ないだけであることを示している (American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2008)。これはこの防護手段の誤りやすさとともに、適切な保守と保管の重要性を改めて示している。鉛エプロンは、長く使えるよう、折りたたまずに、吊り下げるべきである。X 線管の高電圧やより大きな撮影部位などの撮影要因も防護の有効性を引き下げるおそれがある。防護措置を改善するためにこれらの無視されがちな要素を明確に理解し、是正すべきである。

(127) 鉛の甲状腺遮蔽具を使えば、使用する kV と鉛当量によって若干差はあるが 90% 以上放射線被ばくを低減することができる (3 章参照)。外科医の手の被ばくで最も高いレベルは、不注意により直射 X 線ビームに被ばくすることで生じる。外科医は X 線ビームの入射側ではなく、射出側に位置すべきである。X 線ビームの射出側の放射線強度は通常およそ 1% である (3 章)。それゆえ、スタッフが射出側に立つようにあらゆる配慮を講じるべきである。この認識がないとスタッフの不必要な被ばくにつながる。難しい整復を維持する、骨のアライメントが適切か確認する、インプラント留置を確保するなどの場合、これが不可避の場合もあることは承知している。しかしほとんどの場合、手が直接被ばくすることは回避できる。整形外科医または助手の手が保存された X 線透視画像に映っている場合、通常、適切な放射線防護措置が行われていなかったことの証拠であるといえる (図 4.1)。手の直接被ばくが避けられない場合は鉛手袋を使用することも考慮すべきである。

(128) 整形外科文献で記録される最初の放射線被ばくデータのなかには、外傷患者に対する股関節ピン刺入や大腿釘固定時に収集されたデータもある (Giachino と Cheng, 1980; Giannoudis ら, 1998)。3 章で述べたように、患者からの距離をとることは線量低減の効率的な手段である。側方撮影では、X 線ビームを対象に側方から直接照射したとき (外科医は画像検出器側に位置する)、対象との距離を 2.5 から 45 cm に伸ばすと、線量率が 1.9 から 0.2 mGy/h に低減した。同様に、側方からの撮影で X 線ビームを対象の中央線向きに照射したとき (外科医は X 線管側に位置する)、距離を 2.5 から 45 cm に伸ばすと線量率は 77 から 1.5 mGy/h に低減した (Giachino と Cheng, 1980)。



図 4.1

遠位上腕骨骨折の内部固定が適切であることを示すために撮影されたX線透視画像。助手は前腕を支持しており、助手の指3本が画像に映っている。これは、不適切な例である。
出典：D.Miller

4.4 産婦人科

(129) 産婦人科の放射線検査はほとんど放射線科で行われるが、婦人科の診療で行われる場合がある。そのためそれらの検査を本報告書に含める。

(130) 米国の産婦人科の検査はX線透視ガイド下でのすべての診断およびインターベンション手技の4.5%を占め、その平均実効線量は1 mSvである。これは、総集団線量の<1%にあたる (NCRP, 2009)。

(131) 子宮卵管造影法は子宮腔と卵管の開存性を評価するのに用いられる比較的一般的な放射線手技である。一般的に子宮卵管造影法が適応となる症状は一次不妊および二次不妊である。これらの患者が妊娠している可能性があることを忘れてはならない。そして、妊娠の可能性を除外する情報がない限り妊娠検査を実施すべきである。

(132) 骨盤計測は母体の骨盤寸法を評価するために行われる古い手技である。この手技がまだ使用されている国がある。骨盤位で経膈分娩を検討している場合、あるいは、現在の妊娠または前の妊娠で骨盤寸法の縮小が疑われる場合は、通常骨盤計測が必要であると思われる。

(133) 従来、多くの国では骨盤計測が胎児が電離放射線に被ばくする主要な唯一の線源であった。X線による骨盤計測が有用な場合もあるがそれが当てはまるのはまれであり、骨盤計測の実施はそれが有用な場合のみに限定し、ルーチンに行うべきでない。分娩・出産の管理に

関与する医師がX線骨盤計測によって得られる新たな情報は限られている。骨盤計測が医療処置の決定に寄与しようと臨床医が考える少数例においてはその理由は明確に示されるべきである (ICRP, 2000)。

(134) 従来の骨盤計測ではX線撮影が行われたが、現在ではデジタルX線透視撮影法、CT、磁気共鳴画像法 (MRI)、超音波が骨盤計測に使用されている (Thomasら, 1998; ICRP, 2000)。


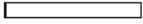
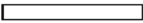
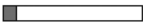

(135) 子宮動脈塞栓術は子宮筋腫 (平滑筋腫) の治療の低侵襲手技である。これは一般医療での手術に代わる手技として許容されうる。しかし、この手技は、それに付随して比較的長いX線透視時間がかかり数多くの画像を撮影することになるため、この手技による放射線の影響を慎重に評価すべきである (Nikolicら, 2000)。

4.4.1 放射線量レベル

患者の線量

(136) 骨盤計測における母と胎児の放射線量は撮影法、すなわちCT、従来のX線撮影またはデジタルX線透視撮影法のいずれを使用するかによって2倍から4倍*の差が生じる (表4.5)。

表 4.5 婦人科手技による標準的患者的線量レベル (おおよその値) とコンピュータ断層撮影との比較

手 技	患者の相対的 平均実効線量 mSv	患者の相対 的平均放射 線量*	報告された値				参考文献†
			X線透視 時間 (分)	入射皮膚 線量 (mGy)	面積線量積 (Gycm ²)	実効線量 (mSv)	
骨盤計測 (従来)		A	—	4.2-5.1	1.4	0.4-0.8	a, b, c
骨盤計測, デジタル X線透視撮影法		A	0.3	3.6	0.10-0.46	0.43	d
コンピュータ断層撮 影骨盤計測		A	—	—	—	0.2	c
子宮卵管造影法		B, C	0.3-14	9.7-30	4-7	1.2-3.1	b, c, e, f, g, h, i, j
子宮動脈塞栓術		E, F	21-36	453-1623	53-89	22-32	l, m

—: 該当するデータなし

† (a) Russel et al., 1980; (b) NCRP, 2009; (c) Hart and Wall, 2002; (d) Wright et al., 1995; (e) Sulieman et al., 2008; (f) Gregan et al., 1998; (g) Perisinakis et al., 2003; (h) Fife et al., 1994; (i) Fernández et al., 1996; (j) Calcchia et al., 1998; (l) Nikolic et al., 2000; (m) Glomset et al., 2006.

* A, <1 mSv; B, 1- <2 mSv; C, 2- <5 mSv; D, 5- <10 mSv; E, 10- <20 mSv; F, 20-35 mSv; G, >35 mSv, 実効線量に基づく値

* (訳注) 表 4.5 の関連文献を確認して修正。

(137) 骨盤計測では、一般に、側面スキヤノグラムによる CT 撮影が放射線量を最も低く抑えられる。CT がない場合には従来の X 線撮影においてエアギャップ手法を使用して側面像を 1 枚だけ撮影するのも、線量を相対的に低く抑えるための選択肢である (Thomas ら, 1998)。比較すると、CT 骨盤計測による実効線量は 0.2 mSv で、これに対し報告されている従来の骨盤計測による実効線量は 0.4-0.8 mSv[†] の範囲にあり、CT 骨盤計測よりも大幅に高い (Hart と Wall, 2002)。

(138) 不妊検査の一環として子宮卵管造影法を受ける患者の標準的実効線量は 1.2-3.1 mSv であり、卵巣線量は 2.7-9.0 mGy である (表 4.5)。しかし、それよりも高い実効線量 8 mSv、卵巣線量 9-11 mGy との報告もされている (Fernández ら, 1996; Nakamura ら, 1996; Gregan ら, 1998)。子宮動脈塞栓術による実効線量はさらに高く、15 mSv から 26 mSv のあいだであり、皮膚と卵巣の線量も比較的高い (Nikolic ら, 2000; Glomset ら, 2006)。報告されている推定平均子宮線量および卵巣線量は、それぞれ 81-101 mGy および 85-105 mGy である (Glomset ら, 2006)。

職業被ばく線量レベル

(139) 子宮卵管造影では検査手順を X 線透視ガイド下で行う場合は、従事者は X 線室内に在る必要がある。手技が X 線撮影だけである場合は、従事者は X 線室の外のコンソールを操作する。X 線室内では従事者は防護鉛エプロンを着用し、3 章に記載されているその他の防護措置も講じるべきである。

(140) このテーマに関する文献はわずかである。最近のある論文は入射表面線量値が 0.18 mGy/手技であり、従来の X 線フィルム法で子宮卵管造影を行なったほうがデジタル撮影よりもわずかながら線量値が増えると報告している (0.21 mGy 対 0.14 mGy)。従事者の眼の水晶体、甲状腺および手の線量は、それぞれ 0.22, 0.15, 0.19 mGy/手技であると報告されている。鉛当量 0.35-0.5 mm の鉛エプロンを着用すると従事者のリスクは無視できる程度になる (Suliman ら, 2008)。

4.4.2 放射線量管理

患者の線量管理

(141) 3 章で患者の線量管理についてきわめて詳細に述べている。

(142) 子宮卵管造影法では、標準的な手技はおよそ 0.3 分の X 線透視と 3 枚から 4 枚の撮影から構成される (Perisinakis ら, 2003)。X 線透視時間が長くなり撮影する画像枚数が増えるとともに患者の線量も増加する。子宮卵管造影法では通常、前後方向撮影と斜位撮影が行われる。子

[†] (訳注) 出典の文献 (Hart と Wall, 2002) により修正。

宮卵管造影法の総実効線量が2 mSvの場合、前後方向撮影と斜位撮影の寄与は、通常それぞれ1.3と0.7 mSvである (Calcchiaら, 1998)。

(143) 管電圧を70から120 kVに引き上げると卵巣線量はおよそ50%低減するなど、管電圧を引き上げることが子宮卵管造影法の線量低減の有効な方法である (Kramerら, 2006)。後前方向撮影を選び、濾過フィルターを増やすことも患者の線量を引き下げる方法となりうる。例えば、付加フィルターを使用することでコンピュータX線撮影システム子宮卵管造影法の画質を損うことなく>80%の線量低減を実現することができた (Nagashimaら, 2001)。

(144) フィルム-増感紙システムからデジタル画像処理装置への移行の結果として、ほとんど6分の1にまで線量を低減できることを示す知見がある。従来のフィルム-増感紙システム使用アンダーチューブX線装置とデジタルCアーム放射線X線透視装置による子宮卵管造影法を比較した線量評価研究によれば、フィルム-増感紙システムとデジタル装置の入射表面線量は、それぞれ15と2.5 mGyであった (Geganら, 1998)。対応する卵巣線量は、それぞれ3.5と0.5 mGyであった (Geganら, 1998)。子宮卵管造影法の実線量のほぼ75%がX線撮影によるものであり、X線透視による線量はわずか25%である (Fernándezら, 1996) ため、保存されているデジタル画像を使用することで新たな患者の被ばくを伴うことなく、大幅な線量低減を達成できたであろう。X線パルス透視機能、最終画像保持機能を備えたCアームX線透視撮影システムを使用することが望ましい (Philipsら, 2010)。

(145) 子宮卵管造影法における線量低減の基本的アプローチは、X線透視時間と撮影画像枚数を低減することにある。

職業被ばく線量管理

(146) 平均施行時間は術者依存性が高いことが実証されている。婦人科医または研修医が行う手技において観察された施行時間は放射線科医によるそれに比べ長いことが報告されている (Suliamanら, 2008)。したがって、子宮卵管造影法は放射線防護と放射線管理の訓練を受けたその分野の技能を有する経験豊かな医師が行うべきである。一般に、患者の線量を低減する方法はすべて検査に関与する医師と補助スタッフの線量も低減することができる。さらに、オーバーチューブX線装置の使用は術者の顔、頸部、上半身の散乱線量を高める。

(147) 一般に、3章で述べた職業被ばく線量管理措置は婦人科手技にも当てはまる。

4.5 消化器科および肝・胆道系

(148) 消化器科手技および肝・胆道系手技における電離放射線の使用は一種の過渡期にある。従来、消化器科医は、ERCPにて膵胆管系の診断手技および治療手技のほかに、胃腸や、肝・胆道系X線検査、小腸生検用チューブの留置、食道拡張術および大腸鏡検査の補助など、

放射線照射を伴うさまざまなインターベンションを行っていた。ERCP やその他の胆管への手技は X 線透視ガイドを必要とし、現在ではほとんどの X 線被ばくは ERCP、内瘻ステント、拡張術によるものである。これら以外の手技は診断装置や技術の改善によって代替されようとしている。ERCP 手技を行う消化器科医は専門病院で働いている場合が多く、毎日いくつもの手技を行う可能性がある。X 線透視装置や X 線装置が使用される多くの状況の中で消化器科医は患者、スタッフ、そして自分自身のリスクを最小限にする機会がある。

(149) ERCP 検査は米国におけるすべての X 透視ガイド下診断およびインターベンション手技の 8.5% を占めており、平均実効線量は 4 mSv である。またそれは X 透視誘導インターベンションによる総集団線量の 4-5% にあたる (NCRP, 2009)。

(150) ERCP 検査では X 線透視は内視鏡の位置と十二指腸内でのその位置関係の検証に使用される。カテーテルとガイドワイヤの留置も X 線透視下に確認する。造影剤を注入し、X 線透視により胆道系と膵管両方の解剖学的形態を評価し、潜んでいる疾患がないか確認する。通常、所見を記録するために画像を撮影するが、最後の X 線透視画像の保持かスポット X 線写真のいずれかを用いる。また、括約筋切開、結石除去、生検や細胞検査、ステント留置などの治療を補助するためにも X 線透視の使用が必要となる。胆管等の解剖学的形状を直接視覚化できる新たな装置があれば、最終的に X 線透視の必要を低減できるかもしれない (World Gastroenterology Organisation, 2009)。

4.5.1 放射線量レベル

患者の線量

(151) X 線を使用する標準的な消化器科および肝・胆道系手技における典型的な患者の線量レベルを表 4.6 に示す。バリウム注腸充盈および二重造影法は大腸（結腸と直腸）の X 線検査である。嚥下造影検査は上部消化管の X 線検査である。消化器科のこれらの伝統的な X 線検査での実効線量は、1-3 mSv（嚥下造影および経口バリウム造影）から 7-8 mSv（逆行性小腸造影と注腸造影法）の範囲である (UNSCEAR, 2010)。これらの検査は主に画像診断部門内で行われるが、消化器科医は標準的な線量レベルとリスクを理解していることが重要である。現時点では多くのバリウム検査の代わりに電離放射線を使わなくてすむ内視鏡手技が使用されている。

(152) 患者にとっての被ばく源は X 線管からの直射 X 線ビームである。ERCP 検査時、患者はおおよそ 2-16 分間 X 線透視を受けると推定され、治療手技はそれよりずっと長い時間がかかる。これまでの研究から ERCP での標準的な DAP 値はおおよそ 13-66 Gy cm^2 であることがわかっている。実効線量は 2 mSv/手技から 6 mSv/手技であると報告されている (World Gastroenterology Organisation, 2009)。

(153) 技術の進歩とともに、内視鏡手技を受けている患者のケアはますます複雑になって

表 4.6 消化器科と肝・胆道系手技による標準的患者線量レベル（おおよその値）

手 技	患者の相対的 平均実効線量 0 mSv 35	患者の相対 的平均放射 線量*	報告された値				参考文献†
			X線透視 時間 (分)	入射皮膚 線量 (mGy)	面積線量積 (Gycm ²)	実効線量 (mSv)	
ERCP (診断目的)		C, D	2-3	55-85	15	3-6	a, b
ERCP (治療目的)		E, F	5-10	179-347	66	20	a, b
生検		C	—	—	6	1.6	a, c
胆管ステント留置		E	—	499	43-54	11-14	a, c, d
経皮経肝胆管造影		D	6-14	210-257	31	8.1	a
胆管ドレナージ		F, G	12-26	660	38-150	10-38	a, d, e
経頸静脈の肝内門脈肝 静脈シャント形成術		F, G	15-93	104-7160	14-1364	19-87	a, e, f
経頸静脈の肝生検		D	6.8	—	34	5.5	f

ERCP: 内視鏡的逆行性胆管膵臓撮影, —: 該当するデータなし

† (a) UNSCEAR, 2010; (b) Olgar et al., 2009; (c) Hart et al., 2002; (d) Dauer et al., 2009; (e) Miller et al., 2003 a; (f) McParland, 1998.

* A, <1 mSv; B, 1- <2 mSv; C, 2- <5 mSv; D, 5- <10 mSv; E, 10- <20 mSv; F, 20-35 mSv; G, >35 mSv, 実効線量に基づく値

いる。その高度な複雑さゆえに治療目的の ERCP による線量は診断目的での ERCP による線量より概して高くなる。診断目的での ERCP の平均 DAP は 14-26 Gycm² であるのに対し、治療的 ERCP の平均 DAP は 67-89 Gycm² に達する。診断目的および治療目的の ERCP の平均入射皮膚線量はそれぞれ、90 mGy と 250 mGy である。平均実効線量は診断目的 ERCP で 3-6 mSv, 治療目的 ERCP で 12-20 mSv である (Larkin ら, 2001; Olgar ら, 2009)。X線透視被ばくは診断目的 ERCP における線量のほぼ 70%, 治療目的 ERCP における線量の >90% を占めており、X線透視時間の低減が線量管理にとって有効な方法であることを示している (Larkin ら, 2001)。

(154) 透視ガイド下経皮的経肝胆汁ドレナージとステント留置について推定されている放射線量とそれに付随するリスクは、これらの手技が行われる若い患者における放射線誘発リスクが相当程度高い可能性があることを示している。平均実効線量の幅は手技のアプローチ（左からのアクセスか右からのアクセスか）と手技計画に応じて若干異なるが、2 から 6 mSv のあいだである。しかし、X線透視時間が長期に及んだ場合実効線量が 30 mSv を超える可能性もある (Stratakis ら, 2006; UNSCEAR, 2010)。公表されている文献によると胆汁ドレナージについて報告されている DAP 値は 38-150 Gycm² の範囲内である。DAP から実効線量への適切な変換率に基づけば、それは 1 手技あたりの実効線量が 10-38 mSv に対応する (Miller ら, 2003

a; Dauer ら, 2009; UNSCEAR, 2010)。

職業被ばく線量

(155) 消化器科医や他のスタッフにとって主要な X 線被ばく源は一次 X 線ビームではなく患者からの散乱放射線である。鉛エプロンを着用した内視鏡医における平均実効線量は 1 手技あたりおよそ 2-70 μSv という値が観察されている (Olgar ら, 2009; World Gastroenterology Organisation, 2009)。内視鏡医の体は鉛エプロンによってよく防護されているが、遮蔽されていない部位は相当な線量に被ばくしている可能性がある。1 回の ERCP 手技による頭頸部 (眼と甲状腺) の標準的な線量は 94-340 μGy , 指の標準的な線量は 280-830 μGy であると報告されている (Buls ら, 2002; Olgar ら, 2009)。PTC (経皮的経肝胆管造影) について報告されている 1 手技あたりの線量は、頭部が 300-360 μGy , 手指は 530-1000 μGy の範囲である (Olgar ら, 2009)。施行数が 3-4 手技/週とした場合, Naidu ら (2005) は ERCP 検査を行っている術者の甲状腺と四肢の外挿年間線量をそれぞれ 40 と 7.92 mSv を報告している。介助スタッフは通常患者から離れて立っているため、位置どりと X 線源の近くにいる時間によって若干差があるが、介助スタッフの線量は通常低い (World Gastroenterology Organisation, 2009)。

(156) Jorgensen ら (2010) は、ERCP 実施者の標準的な年間 ERCP 実施件数は、ERCP 実施者のうち 34% が <100 件, 38% が 100-200 件, 28% が >200 件であると報告している。

(157) ERCP または X 線透視を行う消化器科医が被ばくする線量レベルでの電離放射線の健康への影響を実証することは不可能である。適切な放射線防護ツールと原則が適用されれば年間実効線量は総じて 0-3 mSv ですむ (World Gastroenterology Organisation, 2009)。それにもかかわらず、電離放射線を用いた診断手技および治療手技を行う多くの消化器科医は完全な防護服 (防護エプロン, 甲状腺の遮蔽, 鉛眼鏡のすべて) を日常的に着用していない。ERCP を行っている医師の放射線被ばくの監査では、甲状腺遮蔽具を定期的を使用していると回答したのはわずか半数であり、従事者が大量の放射線被ばくを受けている可能性があるとして報告している (Frenz と Mee, 2005)。

(158) 経皮的胆管造影, 経肝胆汁ドレナージなどの X 線透視ガイド下経皮の手技時の手, 頸部, 前額部および生殖腺の標準的な等価線量は以下の通りである。すなわち, 手が 13-220 μSv , 甲状腺と眼の水晶体が 0.007-0.027 μSv , 鉛エプロン下の性腺については無視できる程度である。年間線量予測値レベルは職業被ばくに対する規制線量限度を下回っている (Benea ら, 1988)。

(159) オーバーチューブ X 線装置がインターベンション手技を行うのに適切でないことはよく知られているが、ERCP には一般にこの種の装置が使われる。Olgar ら (2009) は消化器科医の眼と頸部の標準的な線量はそれぞれ 94 および 75 μGy であると報告している。オーバーチューブ X 線装置では、標準的な眼と頸部の線量はそれぞれ 550 と 450 μGy で、その最大線

量は2.8と2.4 mGy/手技である (Bulsら, 2002)。中程度の実施件数の場合でも眼の水晶体の線量は20 mSvの眼の水晶体の年間等価線量限度に達するおそれがあり、眼の水晶体の線量は特に重要である。このことが使用するX線装置のタイプに依存することは明らかである。

4.5.2 放射線量管理

患者の線量管理

(160) ERCPは純粋に診断が目的の場合には別の撮影方法(例えば磁気共鳴胆管膵管撮影)を使用し、できるだけインターベンションが行われる可能性が高い状況にのみ限定すべきである (Williamsら, 2008)。オーバーチューブ管装置を使った場合について報告されている職業被ばく線量レベルはERCP手技が多くの場合、設備や放射線防護に注意が払われることなく行われていることを示唆している。X線パルス透視機能が装備されたCアーム装置は正しく操作すれば患者と従事者の線量を劇的に低減できることが報告されている (Bulsら, 2002)。さらに、さまざまな腹部および骨盤X線透視検査でグリッド制御X線パルス透視装置を使用することにより、従来の連続X線透視装置に比べて診断的正確さを損なうことなく患者の線量の大幅な低減を達成できうる (Bolandら, 2000)。

(161) X線透視ガイド下に施行する手技ではX線透視時間をできるだけ短くすることが推奨される。X線透視時間と線量を大幅に低減することができるタイマー付透視を使えば患者と職業被ばく線量の両方を大幅に低減することができる (Uradomoら, 2007)。

(162) ERCP時における最も良い方策とは、透視台の下のX線管をできるだけ遠く離す、X線管と患者からできるだけ離れたところに立つ、防護エプロン、甲状腺の遮蔽、鉛入りの眼鏡を着用する事などである。X線装置を最適の操作状態に維持する、X線パルス透視撮影装置を使用する、X線透視時間を最小限に抑える、X線撮影枚数を制限する、遮蔽具を使用する、照射野を絞る、拡大の使用を少なくするなど患者同様従事者のX線被ばくを低減するのに役立つ。放射線被ばく量を増やすことにつながる一切のこと(例えば、X線透視時間が長い、X線撮影枚数が多い、放射線源に近い、患者の上方にX線源を置く、患者に対し従事者が近い)は、電離放射線による放射線量を増加させ潜在的リスクを高める。

(163) 3章で述べた患者の線量管理措置は、通常、消化器科および肝・胆道系の手技に当てはまる。

職業被ばく線量管理

(164) 患者の被ばくと職業被ばくは関連している。患者の線量を低減する措置は、すべて従事者の線量も低減する。

(165) ERCPとTIPS(経頸静脈的肝内門脈体循環シャント術)は高い職業被ばく線量を引き起こす可能性があり、したがって放射線防護に対する注意が必要であることは明らかである。

る。報告されている線量レベルは、ERCPとTIPSがすべてのインターベンション手技と同じ放射線防護措置を必要とすることを示している。委員会は *Publication 85* (ICRP, 2001) においてインターベンション手技における放射線防護の問題を取り上げている。

(166) X線撮影設備の安全な使用のための具体的な方針書や手順書はすべての消化器科のスタッフが入手できるようにすべきである。内視鏡検査スタッフは3章で述べたように、距離、時間、遮蔽に基づく原則を使って放射線の職業被ばくを制限することができる。たとえば、鉛当量 0.5 mm のアクリル遮蔽具を適切に配置することにより、職業被ばくが11分の1に低減される (Chen ら, 1996)。基本的な線量管理措置の他に片面エプロンを使用している場合は、常に放射線を発している装置に対し正面を向けていることが重要である。これが不可能な場合、そして作業の必要上スタッフが放射線源に背を向けて背中を被ばくさせなければならない場合には体のまわり全体の防護ができる巻き付け型のエプロンを使用すべきである (SGNA, 2008)。

(167) 3章で概説したように、訓練と経験は有力な線量低減手段である。ERCP実施経験年数が長い内視鏡医そして、前年に実施したERCP件数が多い内視鏡医ほど、ERCPを実施した際のX線透視時間は短くてすむ。前年に行なったERCP手技件数が<100と100-200であった内視鏡医によるX線透視時間は、前年に行なったERCP手技件数が>200であった内視鏡医によるそれよりもそれぞれ59%および11%長かった。10年経験が長くなるごとに20%ずつX線透視時間が短くなる (Jorgensen ら, 2010)。

4.6 麻酔および疼痛管理

(168) 局所の脊髄痛と神経根障害は非常に一般的な疾患である。画像上の異常はほとんどの場合症状と相関せず、多くの患者は具体的な病名もわからず痛みが持続する。経皮的注射が長年背部痛を治療するために使用されてきたが、これには異論もある。これらの手技の多くは従来、画像ガイドなしで行われてきた。X線透視またはCTによる画像ガイド法はこれらの手技の精度を高め針の刺入を確認するのに役立つ。画像ガイド法は治療成績を向上させ、合併症の発現率の低減につながるはずであり、より広く使われるようになっている (Silbergleit ら, 2001)。硬膜外注射は、保存的疾患管理が奏効しなかった患者や手術を避けたいかあるいは受けることができない患者の腰痛の治療に広く使用されている (Wagner, 2004)。

(169) 連続X線透視を使用する場合、X線透視ガイド下による硬膜外麻酔注射時の患者の線量は高くなることが報告されている。X線パルス透視を使用するとX線透視1分あたりの実効線量は大幅に低くなる。すなわち、3, 7.5, 15パルス/秒における実効線量はそれぞれ0.08, 0.11, 0.18 mSvである (Schmid ら, 2005)。CT透視ガイド下においては実施する連続撮影回数に応じて標準的的患者実効線量は標準的なプロトコルでは1.5-3.5 mSvの範囲、低線量プ

ロトコルでは 0.22-0.43 mSv の範囲を取る。したがって、X 線パルス透視を用いると実効線量は 80-90% 低減すると報告されている。また、低い mA と短い X 管回転時間の低線量 CT プロトコルを使用すれば実効線量が >85% 低減する (Schmid ら, 2005)。

(170) CT 透視ガイド下腰神経根ブロックを実施する術者の鉛防護具範囲外での放射線量は、一般的に 1-8 μ Sv/手技であると報告されている (Wagner, 2004)。

(171) 術者の線量に大きな影響を及ぼす要素には装置に使われている技術、遮蔽の使用状況、術者の経験、低い mA の使用、スキャン体積が小さいことがある。患者の線量はこれらの手法や X 線パルス透視の使用、CT 透視ガイド下時に低い mA 値を使うことによっても大きく低減される (Wagner, 2004 ; Schmid ら, 2005)。

4.7 センチネルリンパ節生検

(172) センチネルリンパ節 (SLN) は、がんが原発性腫瘍から最初に浸潤するリンパ節である。がん細胞は他のリンパ節まで広がる前に SLN に出現すると考えられる。センチネルリンパ節生検 (SLNB ; sentinel lymph node biopsy) はがん細胞が原発性腫瘍からまず SLN に広がり (転移)、ついで他の近くのリンパ節へと順番に広がっていくという前提にもとづいている。SLNB が陰性だった場合はがんがリンパ節にまで広がっていなかったことを示唆する。陽性だった場合はがんが SLN に存在しており、同じ領域の他のリンパ節 (所属リンパ節) にも存在する可能性があることを示している。

(173) 胸部、外陰部、陰茎、頭頸部のがん、および黒色腫の患者において SLN の放射能局在でリンパ節への転移を正確に予測できること、そして位置を特定された SLN を選択的に切除できることがこれまでのいくつかの報告で示されている。このリストは研究の進展とともに増加している。SLN の正確位置の特定はこの手技の成功にとって最も重要である。SLNB は初期乳がん管理に対する標準的なケアになってきている。SLNB では最初に腫瘍が到達するリンパ節だけを診断のために切除する。SLNB 陽性の患者には局所制御を達成するためのリンパ節郭清が検討される。

(174) SLN を特定するためのさまざまな方法が報告されているが放射性トレーサーの腫瘍への注入が最も一般的である。術前のリンパ節シンチグラフィは外科医にとっていわば道路地図の役割を果たし、報告書の定式が求められる。テクネチウム-99 m (^{99m}Tc) 標識硫黄コロイドが 10 年以上前から使用されており、死亡率を低下させて乳がんの病期を改善する可能性を示している。術中ガンマ線検出はいわゆる「ホット」なリンパ節を特定し切除するのに使用される。

(175) 手術室内での放射性物質の使用は放射線被ばくに対し重要な懸念を生じさせる。この手技が多用されるにつれ、放射線安全管理の経験のない人々による使用が今後増加していく

だろう。

4.7.1 放射線量レベル

患者の線量

(176) ^{99m}Tc 硫黄コロイドまたはナノ・コロイドが、一般的な放射性トレーサーであり、最近では陽電子放出放射性医薬品を見つけようとする努力が行われている。 ^{99m}Tc は純粋なガンマ線放射核種である。コロイドとして注射すると局所にとどまるが、この手技に使われる放射線量では患者の放射線量は極めてわずかである。そのため SLNB 手技での患者の放射線量について発表された報告がなく、論文のほとんどが職業被ばくの問題に関するものである。妊娠した患者と胎児の放射線量への懸念に取り組む必要がある。18.5 MBq の ^{99m}Tc -コロイドを使った場合、胎児の推定線量は通常 <0.1 mGy (一般的には ≤ 0.01 mGy) であり、患者の実効線量は通常 <0.5 mSv である。これらの線量は非常に微量で、臨床上の利益が存在し別の手技によっては同じ情報が得られない場合には妊娠中にこの手技の使用を除外する必要はない。しかるべき検討が行われたことを記録に残すべきである (Pandit-Taskar ら, 2006; Spanheimer ら, 2009)。

職業被ばく線量レベル

(177) SLNB で放射性トレーサー注射を行う医師は 1 症例あたり 2.3-48 μSv の等価線量を手に受け、最大等価線量は 164 μSv に達する。外科医は 1 症例あたり 2-8 μSv /件の等価線量を手に受ける (Nejc ら, 2006)。しかし、手術を行っている外科医の手の等価線量は適用する手技によって若干の差はあるが、22-153 μSv にも達すると報告している研究がある (De Kanter ら, 2003)。特筆すべきことに、その医療チームの他のメンバーも同程度の線量に被ばくする (4.3-7.9 μSv /件) (Nejc ら, 2006)。いくつかの他の研究も SLNB による職業被ばく線量が同程度の最小限にとどまることを報告している (Miner ら, 1999; Waddington ら, 2000; Klausen ら, 2005)。およそ 20 患者/年という中規模の病院での標準的実施件数を前提とすると、これらの数字にもとづく手の年間等価線量は最高 3 mSv に達すると考えられる。これに対し委員会の線量限度は 500 mSv である。

4.7.2 放射線量管理

患者の線量管理

(178) 放射線防護の最適化原則からすれば、望ましい臨床情報を得るために必要最小量の放射能の投与が望ましい。さらに、特に妊娠している場合には、同じような情報を得られるなら非電離放射線を用いた代替手技の使用が望まれる。

職業被ばく線量と放射性廃棄物管理

(179) SLNB を放射性トレーサー注射から 24 時間後に手術を行う 2 日間の手技として行うと、医療スタッフの手が被ばくする放射線量が低減されることが示唆されている。24 時間強で放射性トレーサーは 4 物理的半減期を経る (^{99m}Tc , $t_{1/2} = 6.02$ 時間)。さらに、血液から放射性トレーサーが排泄されるため放射能はいっそう低減される (Waddington ら, 2000; Nejc ら, 2006)。

(180) 放射性廃棄物は手術室で発生し、また検体が日常的にきまって保存されていない場合には完全に放射能が減衰するまで病理検査室でも発生するであろう。

(181) 委員会は放射線防護と放射性廃棄物処分に対する一般的枠組みを *Publication 77* (ICRP, 1997) において発表している。放射線防護の主な目的は放射線照射で得られる有益な診療を過度に制限することなく、人間に対する適切な防護基準を制定することにあることを想起すべきである。廃棄物処理による公衆の被ばくを制御するために委員会は 2007 年勧告において、公衆構成員の線量拘束値として *Publication 77* の値 (およそ 0.3 mSv/年以下) を採用した (ICRP, 2007 b)。放射性廃棄物に対する特別な配慮は必要ないが、そのような廃棄物は密封し、国ごとの法令に従って指定された場所に処分するまで貯蔵し減衰させるべきであることが提案されている。

(182) 手術室の放射能汚染は最小限にし、取扱いにおいては正規の予防措置が必要である。数時間検体を保管して時間経過に伴う放射能の減衰を待つことで、SLNB 標本を取り扱う病理医にとって十分な予防措置となる。SLNB 手技によって生じる検体は安全ガイドラインにしたがって、汚染を防止するために線量率がバックグラウンドレベルに下がるまで保管するべきである (Stratmann ら, 1999)。投与する放射能によって若干差はあるが、一次検体の場合 ^{99m}Tc 硫黄コロイド注射後およそ 60–70 時間、リンパ節の場合は 30–40 時間かかる (Miner ら, 1999; Filippakis と Zografos, 2007)。これらの手技を行う前には局所リスク評価を行うべきである。減衰した放射性廃棄物の輸送と処分は国の規制要綱に従って行うべきである。

4.8 参考文献

- American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2008. Radiation Exposure in the OR: is it Safe? American Academy of Orthopaedic Surgeons, Rosemont, IL. Available at: <http://www.aaos.org/news/aaosnow/dec08/clinical1.asp>. Accessed on 24.7.2010.
- Athwal, G.S., Bueno, R., Wolfe, S.W., 2005. Radiation exposure in hand surgery: mini versus standard. *Carm J. Hand Surg.* 30, 1310–1316.
- Badman, B.L., Rill, L., Butkovich, B., et al., 2005. Radiation exposure with use of the mini-C-arm for routine orthopaedic imaging procedures. *J. Bone Joint Surg.* 87, 13–17.
- Benea, G., Galeotti, R., Tartari, S., et al., 1988. Personnel exposure in intraoperative biliary radiology. *Radiol. Med.* 76, 541–544.

- Bindal, R.K., Glaze, S., Ognoskie, M., et al., 2008. Surgeon and patient radiation exposure in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion. *J. Neurosurg. Spine.* 9, 570–573.
- Boland, G.W., Murphy, B., Arellano, R., et al., 2000. Dose reduction in gastrointestinal and genitourinary fluoroscopy: use of grid-controlled pulsed fluoroscopy. *AJR Am. J. Roentgenol.* 175, 1453–1457.
- Boszczyk, B., Bierschneider, M., Panzer, S., et al., 2006. Fluoroscopic radiation exposure of the kyphoplasty patient. *Eur. Spine. J.* 15, 347–355.
- Buls, N., Pages, J., Mana, F., et al., 2002. Patient and staff exposure during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Br. J. Radiol.* 75, 435–443.
- Bush, W.H., Jones, D., Brannen, G.E., 1985. Radiation dose to personnel during percutaneous renal calculus removal. *AJR Am. J. Roentgenol.* 145, 1261–1264.
- Calchia, A., Chiacchiararelli, L., De Felice, C., et al., 1998. Evaluation of effective dose in hysterosalpingography. *Radiat. Prot. Dosim.* 80, 159–161.
- Carter, H.B., Näslund, E.B., Riehle, R.A., 1987. Variables influencing radiation exposure during extracorporeal shock wave lithotripsy. Review of 298 treatments. *Urology* 30, 546–550.
- Chen, M.Y., Van Swearingen, F.L., Mitchell, R., et al., 1996. Radiation exposure during ERCP: effect of a protective shield. *Gastrointest. Endosc.* 43, 1–5.
- Chen, W.C., Lee, Y.H., Chen, M.T., et al., 1991. Factors influencing radiation exposure during the extracorporeal shock wave lithotripsy. *Scand. J. Urol. Nephrol.* 25, 223–226.
- Ciraj-Bjelac, O., Rehani, M.M., Sim, K.H., et al., 2010. Risk for radiation induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern? *Catheter. Cardiovasc. Interv.* 76, 826–834.
- Cowan, J.A., Dimick, J.B., Henke, P.K., et al., 2004. Understanding trends in in-patient surgical volume: vascular interventions 1980 to 2000. *J. Vasc. Surg.* 39, 1200–1208.
- Crawley, M.T., Rogers, A.T., 2000. Dose-area product measurements in a range of common orthopaedic procedures and their possible use in establishing local diagnostic reference levels. *Br. J. Radiol.* 73, 740–744.
- Dahlman, P., Jangland, L., Segelsjö, M., 2009. Optimization of computed tomography urography protocol, 1997 to 2008: effects on radiation dose. *Acta Radiol.* 50, 446–454.
- Dauer, L.T., Thornton, R., Erdi, Y., et al., 2009. Estimating radiation doses to the skin from interventional radiology procedures for a patient population with cancer. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 20, 782–788.
- De Kanter, A.Y., Arends, P.P., Eggermont, A.M., et al., 2003. Radiation protection for the sentinel node procedure in breast cancer. *Eur. J. Surg. Oncol.* 29, 396–399.
- European Commission, 2008. European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-ray Procedures. Radiation Protection No. 154. European Commission, Luxembourg.
- Eikefjord, E.N., Thorsen, F., Rorvik, J., 2007. Comparison of effective radiation doses in patients undergoing unenhanced MDCT and excretory urography for acute flank pain. *AJR Am. J. Roentgenol.* 188, 934–939.
- Fazel, R., Krumholz, H.M., Wang, Y., 2009. Exposure to low-dose ionizing radiation from medical procedures. *N. Engl. J. Med.* 361, 849–857.
- Fernández, J.M., Vaño, E., Guibelalde, E., 1996. Patient doses in hysterosalpingography. *Br. J. Radiol.* 69, 751–754.
- Ferrandino, M.N., Bagrodia, A., Pierre, S.A., et al., 2009. Radiation exposure in the acute and short-term management of urolithiasis at 2 academic centres. *J. Urol.* 181, 668–673.
- Fife, I.A., Wilson, D.J., Lewis, C.A., 1994. Entrance surface and ovarian doses in hysterosalpingography. *Br. J. Radiol.* 67, 860–863.
- Filippakis, G., Zografos, G., 2007. Contraindications of sentinel lymph node biopsy: are there any really? *World J. Surg. Oncol.* 5, 10.
- Finnerty, M., Brennan, P.C., 2005. Protective aprons in imaging department: manufacturer stated lead

- equivalence values require validation. *Eur. Radiol.* 15, 1477–1484.
- Frenz, M.B., Mee, A.S., 2005. Diagnostic radiation exposure and cancer risk. *Gut* 54, 889–890.
- Geijer, H., Larzon, T., Popek, R., et al., 2005. Radiation exposure in stent-grafting of abdominal aortic aneurysm. *Br. J. Radiol.* 78, 906–912.
- Giblin, J.G., Rubenstein, J., Taylor, A., et al., 1996. Radiation risk to the urologist during endourologic procedures, and a new shield that reduces exposure. *Urology* 48, 624–627.
- Gangopadhyay, S., Scammell, B.E., 2009. Optimising use of the mini C-arm in foot and ankle surgery. *Foot Ankle Int.* 15, 139–143.
- Giachino, A.A., Cheng, M., 1980. Irradiation of the surgeon during pinning of femoral fractures. *J. Bone Joint Surg.* 62, 227–229.
- Giannoudis, P.V., McGuigan, J., Shaw, D.L., 1998. Ionising radiation during internal fixation of extracapsular neck of femur fractures. *Injury* 29, 469–472.
- Giordano, B.D., Ryder, S., Baumhauer, J.F., et al., 2007. Exposure to direct and scatter radiation with use of mini C-arm fluoroscopy. *J. Bone Joint Surg.* 89, 948–952.
- Giordano, B.D., Baumhauer, J.F., Morgan, T.L., et al., 2008. Cervical spine imaging using standard C-arm fluoroscopy. Patient and surgeon exposure to ionizing radiation. *Spine* 33, 1970–1976.
- Giordano, B.D., Rehtine, G.R., Baumhauer, J.F., et al., 2009 a. Cervical spine imaging using mini C-arm fluoroscopy: patient and surgeon exposure to direct and scatter radiation. *J. Spin. Disord. Tech.* 22, 399–403.
- Giordano, B.D., Baumhauer, J.F., Morgan, T.L., et al., 2009 b. Patient and surgeon radiation exposure: comparison of standard and mini C-arm fluoroscopy. *J. Bone Joint Surg.* 91, 297–304.
- Glomset, O., Hellesnes, J., Heimland, N., et al., 2006. Assessment of organ radiation dose associated with uterine artery embolization. *Acta Radiol.* 47, 179–185.
- Goldstone, K.E., Wright, I.H., Cohen, B., 1993. Radiation exposure to the hands of orthopaedic surgeons during procedures under fluoroscopic X-ray control. *Br. J. Radiol.* 66, 899–901.
- Gregan, A.C., Peach, D., McHugo, J.M., 1998. Patient dosimetry in hysterosalpingography: a comparative study. *Br. J. Radiol.* 71, 1058–1061.
- Griffith, D.P., Glesson, M.J., Politis, G., et al., 1989. Effectiveness of radiation control program for dornier hm 3 lithotripter. *Urology* 33, 20–25.
- Hellawell, G.O., Mutch, S.J., Thevendran, G., et al., 2005. Radiation exposure and the urologist: what are the risks? *J. Urol.* 174, 948–952.
- Hart, D., Wall, B.F., 2002. Radiation Exposure of the UK Population from Medical and Dental X-ray Examinations. NRPB-W 4. National Radiological Protection Board, Chilton.
- Ho, P., Cheng, S.W., Wu, P.M., et al., 2007. Ionizing radiation absorption of vascular surgeons during endovascular procedures. *J. Vasc. Surg.* 46, 455–459.
- Hua, Y., Yang, Y., Chen, S., et al., 2009. Ultrasound-guided establishment of hip arthroscopy portals. *Arthroscopy* 25, 1491–1495.
- Huda, W., Bews, J., Saydak, A.P., et al., 1989. Radiation doses in extracorporeal shock wave lithotripsy. *Br. J. Radiol.* 62, 921–926.
- ICRP, 1997. Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste. ICRP Publication 77. *Ann. ICRP* 27(Suppl.).
- ICRP, 2000. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84. *Ann. ICRP* 30(1).
- ICRP, 2001. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. *Ann. ICRP* 30(2).
- ICRP, 2007 a. Managing patient dose in multi-detector computed tomography (MDCT). ICRP Publication 102. *Ann. ICRP* 37(1).
- ICRP, 2007 b. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37(2–4).
- Jones, D.P., Robertson, P.A., Lunt, B., et al., 2000. Radiation exposure during fluoroscopically assisted

- pedicle screw insertion in the lumbar spine. *Spine* 25, 1538–1541.
- Jorgensen, J.E., Rubenstein, J.H., Goodsitt, M.M., et al., 2010. Radiation doses to ERCP patients are significantly lower with experienced endoscopists. *Gastrointest. Endosc.* 72, 58–65.
- King, J., Champlin, A., Kelsey, C., et al., 2002. Using a sterile disposable protective surgical drape for reduction of radiation exposure to interventionalists. *AJR Am. J. Roentgenol.* 178, 153–157.
- Klausen, T.L., Chakera, A.H., Friis, E., et al., 2005. Radiation doses to staff involved in sentinel node operations for breast cancer. *Clin. Physiol. Funct. Imag.* 25, 196–202.
- Kramer, R., Houry, H.J., Lopes, C., et al., 2006. Equivalent dose to organs and tissues in hysterosalpingography calculated with the FAX (Female Adult voXel) phantom. *Br. J. Radiol.* 79, 893–899.
- Kumari, G., Kumar, P., Wadhwa, P., et al., 2006. Radiation exposure to the patient and operating room personnel during percutaneous nephrolithotomy. *Int. Urol. Nephrol.* 38, 207–210.
- Larkin, C.J., Workmann, A., Wright, R.E., et al., 2001. Radiation doses to patients during ERCP. *Gastrointest. Endosc.* 53, 161–164.
- Larsen, A.S., Pedersen, R., Sandbaek, G., 2005. Computed tomography of the urinary tract: optimization of low-dose stone protocol in a clinical setting. *Acta Radiol.* 46, 764–768.
- Larson, B.J., Egbert, J., Goble, E.M., 1995. Radiation exposure during fluoroscopy-assisted anterior cruciate ligament reconstruction. *Am. J. Sports Med.* 23, 462–464.
- Larson, B.J., DeLange, L., 2008. Fluoroscopically-assisted hamstring ACL reconstruction. *Orthopaedics* 31, 657–662.
- Levin, P.E., Schoen, R.W., Browner, B.D., 1987. Radiation exposure to the surgeon during closed interlocking intramedullary nailing. *J. Bone Joint Surg.* 69, 761–766.
- Lipsitz, E.C., Veith, F.J., Ohki, T., et al., 2000. Does the endovascular repair of aortoiliac aneurysms impose a radiation safety hazard to vascular surgeons? *J. Vasc. Surg.* 32, 704–710.
- Livingstone, R.S., Koshy, C.G., Raj, D.V., 2004. Evaluation of work practices and radiation dose during adult micturating cystourethrography examinations performed using a digital imaging system. *Br. J. Radiol.* 74, 927–930.
- Love, G., Pillai, A., Gibson, S., 2008. Use of the mini C-arm for wrist fractures—establishing a diagnostic reference level. *Radiat. Prot. Dosim.* 128, 309–311.
- MacNamara, A., Hoskins, P., 1999. Patient radiation dose during lithotripsy. *Br. J. Radiol.* 72, 495–498.
- Mancini, J.G., Ferrandino, M.N., 2010. The impact of new methods of imaging on radiation dosage delivered to patients. *Curr. Opin. Urol.* 20, 163–168.
- McParland, B.J., 1998. A study of patient radiation doses in interventional radiological procedures. *Br. J. Radiol.* 71, 175–185.
- McPhee, J., Eslami, M.H., Arous, E.J., et al., 2009. Endovascular treatment of ruptured abdominal aortic aneurysms in the United States (2001–2006): a significant survival benefit over open repair is independently associated with increased institutional volume. *J. Vasc. Surg.* 49, 817–826.
- Mehlman, C.T., DiPasquale, T.G., 1997. Radiation exposure to the orthopaedic surgical team during fluoroscopy: ‘how far away is far enough?’ *J. Orthop. Trauma* 11, 392–398.
- Mei-Dan, O., Kots, E., Barchilon, V., et al., 2009. A dynamic ultrasound examination for the diagnosis of ankle syndesmotric injury in professional athletes: a preliminary study. *Am. J. Sports Med.* 37, 1009–1016.
- Mesbahi, A., Rouhani, A., 2008. A study on the radiation dose of the orthopaedic surgeon and staff from a mini C-arm fluoroscopy unit. *Radiat. Prot. Dosim.* 132, 98–101.
- Mettler, F.A., Huda, W., Yoshizumi, T.T., et al., 2008. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology* 248, 254–263.
- Miller, D.L., Balter, S., Cole, P.E., et al., 2003 a. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR study: part I. Overall measures of dose. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 14, 711–727.
- Miller, D.L., Balter, S., Cole, P.E., et al., 2003 b. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR study: part II. Skin dose. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 14, 977–990.

- Miner, T.J., Chriver, C.D., Flicek, P.R., et al., 1999. Guidelines for the safe use of radioactive materials during localization and resection of the sentinel lymph node. *Ann. Surg. Oncol.* 6, 75–82.
- Müller, L.P., Suffner, J., Wenda, K., et al., 1998. Radiation exposure to the hands and the thyroid of the surgeon during intramedullary nailing. *Injury* 29, 461–468.
- Nagashima, H., Yoshimoto, S., Ikenaga, S., et al., 2001. Optimization of patient skin dose and image quality for hysterosalpingography (HSG). *Jpn. J. Radiol. Technol.* 57, 1562–1569.
- Naidu, L.S., Singhal, S., Preece, D.E., et al., 2005. Radiation exposure to personnel performing endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Postgrad. Med. J.* 81, 660–662.
- Nakamura, K., Ishiguchi, T., Maekoshi, H., et al., 1996. Selective fallopian tube catheterisation in female infertility: clinical results and absorbed radiation dose. *Eur. Radiol.* 6, 465–469.
- Nawfel, R.D., Judy, P.F., Schleipman, A.R., et al., 2004. Patient radiation dose at CT urography and conventional urography. *Radiology* 232, 126–132.
- NCRP, 2000. Radiation Protection for Procedures Performed Outside the Radiology Department. NCRP Report 133. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- NCRP, 2009. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report 160. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- Nejc, D., Wrzesien, M., Piekarski, J., et al., 2006. Sentinel node biopsy in skin melanoma patients—measurements of absorbed doses of radiation to the hands of medical staff. *J. Surg. Oncol.* 93, 355–361.
- Nikolic, B., Spies, J., Lundsten, M., et al., 2000. Patient radiation dose associated with uterine artery embolization. *Radiology* 214, 121–125.
- Nordeen, M.H., Shergill, N., Twyman, R.S., et al., 1993. Hazard of ionizing radiation to trauma surgeons. Reducing the risk. *Injury* 24, 562–564.
- Olgar, T., Bor, D., Berkmen, G., et al., 2009. Patient and staff doses for some complex X-ray examinations. *J. Radiol. Prot.* 29, 393–407.
- Pandit-Taskar, N., Dauer, L.T., Montgomery, L., et al., 2006. Organ and fetal absorbed dose estimates from 99 mTc-sulfur colloid lymphoscintigraphy and sentinel node localization in breast cancer patients. *J. Nucl. Med.* 47, 1202–1208.
- Perisinakis, K., Damilakis, J., Grammatikakis, J., et al., 2003. Radiogenic risks from hysterosalpingography. *Eur. Radiol.* 13, 1522–1528.
- Perisinakis, K., Damilakis, J., Theocharopoulos, N., 2004. Patient effective dose and radiogenic risks from fluoroscopically assisted surgical reconstruction of femoral fractures. *Radiat. Prot. Dosim.* 108, 65–72.
- Phillips, J., Cochavi, S., Silberzweig, J.E., 2010. Hysterosalpingography with use of mobile C-arm fluoroscopy. *Fertil. Steril.* 93, 2065–2068.
- Rampersaud, Y.R., Foley, K., Shen, A., et al., 2000. Radiation exposure to the spine surgeon during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion. *Spine* 25, 2637–2645.
- Russel, J.G.B., Hufton, A., Pritchard, C., 1980. Gridless (low radiation dose) pelvimetry. *Br. J. Radiol.* 53, 233–236.
- Safak, M., Olgar, T., Bor, D., et al., 2009. Radiation doses of patients and urologists during percutaneous nephrolithotomy. *J. Radiol. Prot.* 29, 409–415.
- Sanders, R., Koval, K.J., DiPasquale, T., et al., 1993. Exposure of the orthopaedic surgeon to radiation. *J. Bone Joint Surg.* 75, 326–330.
- Sandilos, P., Tsalafoutos, I., Koutsokalis, G., et al., 2006. Radiation doses to patients from extracorporeal shockwave lithotripsy. *Health Phys.* 90, 583–587.
- Schmid, G., Schmitz, A., Borchardt, D., 2005. Effective dose of CT- and fluoroscopy-guided perineural/epidural injections of the lumbar spine: a comparative study. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 29, 84–91.
- Schueler, B., 2010. Operator shielding: how and why. *Tech. Vasc. Interv. Rad.* 13, 167–171.
- Seibert, J., 2004. Vertebroplasty and Kyphoplasty: do Fluoroscopy operators know about radiation

- dose, and should they want to know? *Radiology* 232, 633–634.
- SGNA, 2008. SGNA guideline : radiation safety in the endoscopy setting. *Gastroenterol. Nurs.* 31, 308–311.
- Silbergleit, R., Mehta, B.A., Sanders, W., 2001. Imaging-guided injection techniques with fluoroscopy and CT for spinal pain management. *RadioGraphics* 21, 927–942.
- Singer, G., 2005. Occupational radiation exposure to the surgeon. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* 13, 69–76.
- Spanheimer, P.M., Graham, M.M., Sugg, S.L., et al., 2009. Measurement of uterine radiation exposure from lymphoscintigraphy indicates safety of sentinel lymph node biopsy during pregnancy. *Ann. Surg. Oncol.* 16, 1143–1147.
- Storm, E.S., Miller, D.L., Hoover, L.J., et al., 2006. Radiation doses from venous access procedures. *Radiology* 238, 1044–1050.
- Stratakis, J., Damilakis, J., Hatzidakis, A., et al., 2006. Radiation dose and risk from fluoroscopically guided percutaneous transhepatic biliary procedures. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 17, 77–84.
- Stratmann, S.L., McCarty, T.M., Kuhn, J.A., 1999. Radiation safety with breast sentinel node biopsy. *Am. J. Surg.* 178, 454–457.
- Suhm, N., Jacob, A., Zuna, A.L., et al., 2001. Radiation exposure of the patient by intraoperative imaging of intramedullary osteosynthesis. *Radiologe* 41, 91–94.
- Suliman, A., Theodorou, K., Vlychou, M., et al., 2008. Radiation dose optimisation and risk estimation to patients and staff during hysterosalpingography. *Radiat. Prot. Dosim.* 128, 217–226.
- Tack, D., Sourtzis, S., Delpierre, I., et al., 2003. Low-dose unenhanced multidetector CT of patients with suspected renal colic. *AJR Am. J. Roentgenol.* 180, 305–311.
- Talati, J., Khan, S., Biyabani, R., et al., 2000. Reduction of radiation exposure to patients in the followup of shockwave lithotripsy. *BJU Int.* 85, 404–407.
- Theocharopoulos, N., Perisinakis, K., Damilakis, J., et al., 2003. Occupational exposure from common fluoroscopic projections used in orthopaedic surgery. *J. Bone Joint Surg.* 85, 698–1703.
- Thomas, S.M., Bees, N.R., Adam, E.J., 1998. Trends in the use of pelvimetry techniques. *Clin. Radiol.* 53, 293–295.
- Tsalafoutas, I.A., Tsapaki, V., Kaliakmanis, A., et al., 2008. Estimation of radiation doses to patients and surgeons from various fluoroscopically guided orthopaedic surgeries. *Radiat. Prot. Dosim.* 128, 112–119.
- UNSCEAR, 2010. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report. United Nations, New York.
- Uradomo, L.T., Goldberg, E.M., Darwin, P.E., 2007. Time-limited fluoroscopy to reduce radiation exposure during ERCP : a prospective randomized trial. *Gastrointest. Endosc.* 66, 84–89.
- Vañó, E., Kleiman, N.J., Duran, A., et al., 2010. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat. Res.* 174, 490–495.
- Waddington, W.A., Keshtgar, M.R., Taylor, I., et al., 2000. Radiation safety of the sentinel lymph node technique in breast cancer. *Eur. J. Nucl. Med.* 27, 377–391.
- Wagner, A., 2004. CT fluoroscopy-guided epidural injections : technique and results. *Am. J. Neuroradiol.* 25, 1821–1823.
- Weerakkody, R.A., Walsh, S.R., Cousins, C., et al., 2008. Radiation exposure during endovascular aneurysm repair. *Br. J. Surg.* 95, 699–702.
- Weiss, D.B., Jacobson, J.A., Karunakar, M.A., 2005. The use of ultrasound in evaluating orthopaedic trauma patients. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* 13, 525–533.
- Weiss, D.J., Pipinos, I., Longo, G.M., et al., 2008. Direct and indirect measurement of patient radiation exposure during endovascular aortic aneurysm repair. *Ann. Vasc. Surg.* 22, 723–729.
- World Gastroenterology Organisation, 2009. Radiation Protection in the Endoscopy Suite. Minimizing Radiation Exposure for Patients and Staff in Endoscopy : a Joint ASGE/IAEA/WGO Guideline. World Gastroenterology Organisation. Available at : <http://www.worldgastroenterology.org/radia->

- tion_protection_in_the_endoscopy_suite.html. Accessed on 23.8.2010.
- Williams, E.J., Green, J., Beckingham, I., et al., 2008. Guidelines on the management of common bile duct stones (CBDS). *Gut* 57, 1004–1021.
- Wright, D.J., Godding, L., Kirkpatrick, C., 1995. Technical note : digital radiographic pelvimetry—a novel, low dose, accurate technique. *Br. J. Radiol.* 68, 528–530.
- Yakoumakis, E., Tsalafoutas, I.A., Nikolaou, D., et al., 2001. Differences in effective dose estimation from dose–area product and entrance surface dose measurements in intravenous urography. *Br. J. Radiol.* 74, 727–734.
- Yanch, J.C., Behrman, R.H., Hendricks, M.J., et al., 2009. Increased radiation dose to overweight and obese patients from radiographic examinations. *Radiology* 252, 128–139.
- Yang, R.M., Morgan, T., Bellman, G.C., 2002. Radiation protection during percutaneous nephrolithotomy : a new urologic surgery radiation shield. *J. Endourol.* 16, 727–731.
- Zoeller, G., May, C., Vosshenrich, R., et al., 1992. Digital radiography in urologic imaging : radiation dose reduction on urethrocytography. *Urol. Radiol.* 14, 56–58.

5. 妊娠と子ども

- 妊娠中の患者に医療用放射線を適用するにあたっては、その正当性を評価した上で、胎児の線量を低減するよう調整すべきである。
- 胎児線量が < 100 mGy での妊娠の中絶は放射線リスクの観点からは正当化されない。
- 妊娠中の従事者の胚／胎児の線量をその妊娠申告後 1 mSv に制限するということは、その従事者が放射線業務を完全に避ける必要があること、あるいは放射線管理区域に立ち入って働くのをやめなければならないことを意味しない。
- 全妊娠期間中胎児の線量が 1 mSv 以下に保たれるという合理的保証があるかぎり、妊娠中の医療従事者は放射線環境下で働くことができる。しかし、このことは雇用主がその妊婦の被ばく状況を注意深く検討すべきであることを意味する。

5.1 患者の被ばくと妊娠

(183) 妊娠女性の医療被ばくは医学手技を実施しないことによるリスクがある一方で、胎児の放射線リスクへの懸念があるために専門家にとっては難しい課題である。毎年何千人もの妊娠した患者と従事者が電離放射線に被ばくしている。知識の不足は大きな不安やおそらくは不必要な中絶の原因ともなる (ICRP, 2000)。本節は妊娠が判明している状況だけでなく、妊娠かどうか不明な状況あるいは申告されていない状況での被ばくにも焦点を当てている。委員会は *Publication 84* (ICRP, 2000) において幅広くこのテーマを取り上げている。

(184) 発育中の胎児の子宮内放射線被ばくによる潜在的生物学的影響には、出生前の死、子宮内発育不全、小頭症、精神遅滞、器官形成異常 (奇形)、小児がんなどがある。それぞれの影響のリスクは被ばく時の在胎週数、胎児の細胞修復メカニズム、吸収放射線量レベルに依存する (ICRP, 2000; McCollough ら, 2007)。

(185) 診断のための放射線検査での放射線が胎児に有害な影響を及ぼすとは考え難いが、放射線誘発性の影響の可能性を完全に排除することはできない。しかし侵襲的手技における胎児の放射線量には幅があり、胎児が一次ビーム上にない場合には線量はほとんど取るに足りない程わずかであるが、胎児が一次ビーム上にある、あるいは一次ビーム境界に隣接している場合には高線量に被ばくする。これには事前計画が必要となる。放射線リスクは器官形成期と初期の胎児期が最も大きく、第2期 (中期) になるといくぶんより低下し、第3期 (後期) では

最も小さくなる (ICRP, 2000)。

(186) 委員会が *Publication 84* (ICRP, 2000) において述べたように、出生前 X 線と小児がんについて行われた多くの疫学研究の解析では、およそ 10 mGy の胎児線量被ばく後の相対リスクが 1.4 であるという見解 (自然発生に対し 40% 増) が導き出されている。絶対リスク推定研究は、子宮内で 10 mGy に被ばくする 1700 人の子どもにつきがん死亡 1 例が増加するというリスクを示している (ICRP, 2000)。

(187) ほとんどの診断手技は適切に実施されるかぎり、それによる出生前線量によって出生前死亡、器官形成異常または精神的発達障害のリスクが自然発生率を上回ることは通常ない。おもな X 線手技による標準的胎児の線量を表 5.1 に示す。

(188) 胎芽の中の細胞の数が少なくその特徴がまだ分化していない時点でのそれらの細胞の損傷の影響は、着床失敗や検出されない胎芽死の形を取ることが最も考えられる。器官形成異常はまず起こらないか、あるいは非常に珍しい。器官形成は受胎から 3-5 週後に始まるため、妊娠のごく初期での放射線被ばくは形成異常をもたらしえないと考える。主要なリスクは胎児死亡であり、これが起こるには胎児線量が >100 mGy に達する必要がある。胎児線量が

表 5.1 X 線検査による胎児の標準的吸収線量

検査	典型的な胎児線量 (mGy)	参考文献*
腹部：前後方向	2.9	a
腹部：後前方向	1.3	a
骨盤：前後方向	3.3	a
胸部	<0.01	b
腰椎 (さまざまな撮影の平均)	4.2	b
股関節	0.9	b
経静脈性腎盂撮影 (画像 4 枚)	6	c
経静脈性尿路造影	1.7-4.8	d
小腸検査	7	c
二重造影注腸	7	c
バリウム検査	1.5	b
胆嚢造影法	3.9	b
腹部 CT, ルーチン	4	c
腹部/骨盤 CT, ルーチン	25	c
腹部/骨盤 CT, 結石プロトコル	10	c
内視鏡的逆行性胆管膵管造影	3.5-56	e
骨盤計測	0.1-1.0	f
透視下股関節外科療法	0.425	g
センチネルリンパ節生検	<0.1	h
脊椎障害の透視下外科療法 (胎児は一次ビームの外)	4	i
脊椎障害の透視下外科療法 (胎児は一次ビームの内)	105	i
経頸静脈的肝内門脈体循環シャント術	5.5	j

CT：コンピュータ断層撮影

* (a) UNSCEAR, 2010; (b) Osei and Faulkner, 1999; (c) McCollough et al., 2007; (d) ICRP, 2000; (e) Samara et al., 2009; (f) Radiological Protection Institute of Ireland, 2010; (g) Damilakis et al., 2003; (h) Pandit-Taskar et al., 2006; (i) Theocharopoulos et al., 2006; (j) Savage et al., 2007.

およそ 100 mGy を上回ると知能指数 (IQ) が低下する可能性がある。在胎週数に関係なく、 <100 mGy の胎児線量では IQ 低下は臨床的に確認できていない。電離放射線の健康への影響の大きさと、自然放射線以外の放射線被ばくがない集団で自然発生するこれらの異常とを比較検討することも重要である (ICRP, 2000)。

(189) 時折妊娠していることを知らずに X 線検査を受け、のちに妊娠していたことが分かった時、当然そのことを非常に心配する患者がいる。そのような場合には胎児/胎芽の放射線量は線量測定の実験のある医学物理士またはその他の専門職者が推定すべきである。患者はそののちに関係する潜在的リスクについて助言を受けることが適切である。

(190) 妊娠中の患者が X 線手技を受ける必要があるとき、その手技に正当な理由があるか適応を評価すべきである。そして 3 章で規定したように、適正な手技を厳格に遵守することによって最適化をはかるべきである。

5.2 妊娠可能年齢で放射線検査/手技を受ける患者に対するガイドライン

(191) 妊娠可能年齢の女性患者は放射線被ばくの前に評価し、妊娠中であるかあるいは妊娠している可能性がないかを判定する努力をすべきである。

(192) 16 歳未満の女性からこの情報を得る際には、特有の問題に向き合う可能性がある。これを取り扱うための、そして意識を失った患者や特別なニーズのある患者に対処するために、同意された手続きがすべての臨床画像撮影施設できちんに行えるべきである (Health Protection Agency, 2009)。さらに妊娠が思春期の少女に起こりうることを忘れてはならない。したがって、このグループに対しては胎児がいる可能性を想定して被ばくに対する予防措置を適用すべきである。このグループに対しては彼女たちのプライバシーを尊重し、真実が語られる可能性を高めるために、関連した質問を行うときは配慮と感受性を働かせるべきである。妊娠検査に関しては、多くの検査は初期の妊娠を除外するうえではほとんど価値がなく、誤った安心感を生む原因となる。

(193) 妊娠の可能性を排除する情報 (例えば子宮摘出または卵管結紮) がない限り、月経期間が過ぎているあるいは月経が来ない妊娠可能年齢の女性が X 線検査のために来院した場合は、妊娠しているとみなすことが賢明である。そのうえで妊娠可能年齢にある女性には全員、妊娠しているかどうか、妊娠している可能性があるかどうか尋ねるべきである。胚と胎児の意図しない放射線被ばくの頻度を最小限に抑えるため、X 線装置を使用する区域ではそのことを告知する注意書を複数の場所に掲示すべきである。

(194) 胎児の線量が通常 50 mGy よりもずっと低い X 線手技では妊娠検査は通常行わない。腹部または骨盤の高線量 X 線透視手技 (例えば塞栓術) を検討している場合、医師は患者の信頼性と既往歴などから妊娠検査を必要とする場合もある (ICRP, 2000)。

(195) 妊娠の可能性がなければ検査を行うことができる。患者が明らかに妊娠しているかその可能性があると思われる場合は、母体にとって臨床的利益がある手技は胎児にとっても間接的利益となる可能性があることや、不可欠な手技を妊娠中に先延ばしにすることで胎児により大きなリスクを課すことになる可能性があることに留意しつつ、実施を検討している検査の正当性を確認し出産後まで検査を延期すべきかどうか決定すべきである (Health Protection Agency, 2009)。

(196) 患者が妊娠しているか、おそらく妊娠していると判断されれば5.3節のガイドラインにしたがって、いくつかのステップが当該手技を行う前に通常実施される。

5.3 妊娠していることが判明している患者に対するガイドライン

(197) 妊娠女性の医療被ばくが置かれる利益/リスク状況は他のほとんどの医療被ばくと異なる。ほとんどの医療被ばくにおいては利益とリスクは同一の個人が受ける。子宮内医療被ばくの状況では2つの異なる存在 (母体と胎児) を考慮しなければならない (ICRP, 2000)。

(198) 医療用放射線の照射は利用できる手段や技術を踏まえ、必要最低限の放射線で臨床的目的を達成するよう最適化すべきである。もしできれば、妊娠中の患者に対しては医学的な処置は胎児の線量を低減するように調整すべきである。妊娠中の患者に高線量の放射線を照射する医療手技の実施前後で胎児の線量と潜在的リスクがどの程度になるか推定すべきである (ICRP, 2000)。

(199) 胎児線量が <100 mGyでの妊娠の中絶は放射線リスクの観点からは正当化されない。それを上回る胎児線量の場合、個々の状況に基づいて得られた情報に従って決定を行うべきである (ICRP, 2000)。

5.4 職業被ばくと妊娠

(200) 妊娠している女性の就労中の放射線防護方法は、公衆構成員に対して提供する放射線防護のレベルとおおむね同じレベルの防護を胚/胎児に行う、というのが委員会の方針である。妊娠した従事者の労働条件としては、妊娠申告がなされた時からその後の妊娠期間を通じて胚/胎児のさらなる線量がおよそ 1 mSvを上回らないことを確実にしなければならない、と委員会は勧告している。妊娠した従事者の胚/胎児の線量を妊娠申告後 1 mSvまでに制限するということは、妊娠女性が放射線業務を完全に避けなければならない、あるいは放射線管理区域に立入ることやそこで働くことをやめなければならないということではない。このことは、しかしながら雇い主が慎重にその妊娠女性の被ばく状態を管理しなければならないことを意味する (ICRP, 2007 a)。

(201) 妊娠中の従事者が同じ仕事を続けたいと希望する状況はよくあり、あるいは雇い主がその医療チームが患者に通常提供できるケアレベルを維持するため、同じ業務をその従事者が継続するのを期待する場合もある。放射線防護の観点からすれば、胎児の線量が合理的な程度に正確に推定することができ、かつ妊娠の申告後の胎児線量が勧告限度の1 mGy内に収まるかぎりこれは全く問題ない。高線量事故はまず起こらないという保証を提供するために労働環境を評価することが合理的である (ICRP, 2000)。

(202) 勧告された線量限度は胎児の線量についてであり、個人の線量計で測られる線量とは直接比較は可能ではない。放射線診断科の従事者が着用する個人線量計はおよそ10倍かそれ以上に胎児の線量を過大評価する可能性がある。鉛エプロンの外に線量計を着用していれば、線量測定値は胎児線量よりおよそ100倍高くなると考えられる (ICRP, 2000)。

(203) 最後に、妊娠している従事者の活動を評価する際には放射線被ばく以外の要因も考慮すべきである。医療環境では患者を持ち上げたり、ひざの高さより下にかがむか体を曲げたりすることがしばしば必要になる。国によっては妊娠のさまざまな段階で、そのような業務について放射線関連以外のガイドラインを制定している国内団体もある (ICRP, 2000)。

(204) 妊娠中の放射線リスクに基づく差別は避けるべきであるというのが委員会の見解である。妊娠した女性が引き続きX線透視ガイド下での手技室での業務を継続したいと望む場合、次の条件に該当すればこれを許すべきである。すなわち、(a) 妊娠した女性がその業務を自発的に行い、放射線リスクに関して提供された情報を理解していることを確認していること、(b) 個人線量計を腹部の高さで使用して毎月胎児線量をモニターし、その線量値を従事者に知らせること、(c) 医学物理士または同等の適格な専門家によって監督される放射線防護プログラムが病院またはクリニックで確立されていること、(d) 従事者が既存の放射線防護具の使用を含めて職業被ばく線量を低減する実用的方法を知っていること、(e) 従事者が妊娠期間中のX線透視ガイド下手技の業務量を制御するよう努力すること、(f) 従事者が潜在的被ばくリスクとその確率を低減するための方法を知っていること、である。なお、ポイント(d)、(e)、(f)は、放射線防護プログラムの一部であるべきであり、ポイント(d)は妊娠にかかわらず該当する。

5.5 小児における手技

(205) 小児におけるX線手技は、若年小児に特有の異なる範囲の疾患と一部成人集団にも広く見られる疾患を対象としている。UNSCEARが発表したデータによると世界中で1997年から2007年にかけておよそ2億5000万件の小児科放射線検査（歯科を含む）が毎年行われたことを推定される (UNSCEAR, 2010)。これらの検査を受ける小児は小児期固有の疾患と検査という追加のリスクにさらされるため、特別な注意を必要とする。さらに小児は、親と介護者

からのケアと特別に訓練された職員により提供されるケアの両方の形での特別なケアが必要である。

(206) この15年で、放射線検査を受ける小児を防護する際に起こる特有の問題についての意識が、関係する専門職者グループや公衆の間に徐々に広がっている (Sidhu ら, 2009; Strauss ら, 2010)。小児を不必要な危害から防護したいという自然の本能だけでなくこれには多くの理由がある。小児は放射線損傷に対する感受性が高いことが知られていることや、小児のほうが余命が長く、その間に放射線損傷による病気が発現する可能性がある。がん誘発に対する小児の感受性は成人に比べて3から5倍高いと考えられる (ICRP, 2007 a)。

(207) 小児、特に非常に幼い時に命を脅かす疾患に罹患した小児は、検査時にかなりの放射線量に被ばくした結果として最も大きなリスクを負っている。これらの小児は骨髄照射の結果その後2,3年以内に白血病になる可能性があり、胸または頸部照射の結果乳がんまたは甲状腺がん発症の可能性がある (ICRP, 2000)。

(208) したがって、小児に電離放射線を照射する場合には正当化と最適化の原則がはるかに重要になる (ICRP, 2007 a)。委員会は *Publication 105* (ICRP, 2007 b) において、患者への照射の正当性を評価するために多段階アプローチをとることを勧告している。小児検査の放射線防護の最適化は検査タイプや関係するすべての装置や手技に包括的なものとすべきである。それはまた個々の小児科患者の線量を低減するために個人に最適であるべきである。

(209) 小児科の画像撮影に使用する設備はよく設計されたものであり、適用する目的に合致していることが重要である。これを達成する最も適切な方法は何かが必要であるかについての厳格な仕様と、それが供給元から提供されるのかの検証からなる適切な調達方針を定めることである。さらにそれには、その設備が寿命全体を通じて機能と安全性の両方を維持することを確保するための適切な品質管理プログラムと線量最適化と監査に対しての医学物理士の関与が必要である。特に小児において行われる高線量をもたらす手技についてはそれらが必要とされる。

5.5.1 放射線量レベル

(210) 現在、米国で行われるすべてのX線透視手技のおよそ15%とインターベンション手技の<1%は小児科患者に対して行われている (NCRP, 2009)。画像診断部門以外でX線手技を受ける小児については、患者の線量レベルに関しての公表された情報が欠けている。したがって、画像診断部門以外で行われる検査に加えて、放射線検査を受けているさまざまな年齢の患者の標準的線量レベルを比較の目的で表5.2に提示する。しかし、新しい画像撮影技術の導入の結果として小児科の画像撮影の使用が増えている例もあり、このことが実施される検査の年齢構成にも影響を及ぼしている (UNSCEAR, 2010)。

(211) 小児の身長と体重は年齢で大きく変わるため小児科の線量に関するデータを分析す

表 5.2 小児のさまざまな放射線検査における患者線量レベル

(Martinez ら, 2007; Righi ら, 2008; Molina López ら, 2008; Calama Santiago ら, 2008; UNSCEAR, 2010)。

検査	年齢 (年)	入射表面線量 (mGy)	面積線量積 (mGy cm ²)	実効線量 (mSv)
腹部 PA	0	0.11	—	0.10-1.3
	1	0.34	—	
	5	0.59	—	
	10	0.86	—	
	15	2.0	—	
胸部 AP/PA	0	0.06	—	0.005
	1	0.080	—	
	5	0.11	—	
	10	0.070	—	
	15	0.11	—	
骨盤 AP	0	0.17	—	—
	1	0.35	—	
	5	0.51	—	
	10	0.65	—	
	15	1.30	—	
頭蓋 AP	1	0.60	—	—
	5	1.2	—	
頭蓋 LAT	1	0.34	—	—
	5	0.58	—	
MCU (排尿時膀胱尿道造影法)	0	—	430	0.8-4.6
	1	—	810	
	5	—	940	
	10	—	1640	
	15	—	3410	
バリウム検査	0	—	760	—
	1	—	1610	
	5	—	1620	
	10	—	3190	
	15	—	5670	
心臓インターベンション手 技 (さまざまな手技)	<1	46	19	2.1-12
経皮的精索静脈瘤治療	—	—	—	18
胆管形成術による胆汁ドレ ナーシ	1-3	35-50	1500-2300	0.9-1.5
腎盂尿管手術	5	20	—	0.36 (X線透視 1分あたり)
精索静脈瘤塞栓術	14	250	60,000	8.8

AP: 前後方向, PA: 後前方向, LAT: 側面, n.a: 該当するデータなし

るのは非常に難しい。また、小児および新生児の画像撮影における患者の線量レベルを、実効線量を使って定量化することは不適切である。付属書Aでさらに説明するように、患者の被ばくのリスク/利益評価を行おうとする場合は等価線量—またはより望ましくは照射を受けた組織の吸収線量—が数量としては適切である。リスク推定を意図する場合は特にこの数量を使用することが望ましい。医療施設を比較するため、新生児、1歳、5歳、10歳、15歳の小児という5つの標準的年齢層についてデータを集めることがEUで合意されている（UNSCEAR, 2010）。

(212) 小児期に標準的な診断レベル（数 mGy から数十 mGy）の照射を受けた後の最大の問題は発がんである。インターベンション手技は患者に通常の診断検査より高い線量につながることを強調すべきである。委員会は *Publication 85*（ICRP, 2001）においてこのテーマを詳細に扱っている。

(213) 一般原則として、親または家族はどのような放射線検査でも小児を支えなければならない。小児のX線検査の際に検査室に立ち合っている親について報告されている実効線量レベルは一般的に4-7 μ Sv（Mantovani と Giroletti, 2004）である。

5.5.2 放射線量管理

(214) 3章で述べている線量管理の活動は、すべて小児のX線検査にもあてはまる。検査パラメータは小児の体の大きさに合わせなければならない。小児に対する線量低減は小児に特有の技術的要素を用いて達成されるものであり、定型的な成人の要素を用いては達成されない（Sidhu ら, 2009）。患者の線量を低減する手法は成人の検査におけるもののそれとほぼ同じであって、次のようなものからなる。すなわち、(a) グリッドを使用しない、(b) 対象となる照射領域に照射を絞る、(c) ビームフィルターを追加する（銀または銅のフィルターの追加）、(d) 低パルスレートでパルス透視を使用する、(e) 拡大倍率を低くする、(f) X線管と患者間の距離を大きく取り、患者と検出器の間の距離を小さくする、(g) 造影剤と患者の線量を低減できるデジタル・サブトラクション・アンギオグラフィーとロードマッピング手技によるX線透視を使用する、などである。小児のX線手技では、影響を関心領域だけに限定し放射線ビームを最小限に抑えるよう配慮すべきである。したがって、小児の場合絞りはさらに重要である（3.3.2）。線量を低減するためには対象の臓器のみに照射ビームを絞り込んで、他は一切照射しないようにすべきである。X線透視装置に自動輝度調節が使用されていれば、これによって照射野内の線量がわずかに高くなるが、実効線量は低くなり画質も向上する。

(215) 介助者や介護者（検査時に小児を抱く親）の被ばくでは、不公平な事態を制限するため、および線量限度のかたちでは更なる防護が存在しないという理由から線量拘束値が適用される（ICRP, 2007 b）。親は適切な放射線防護具を使用し、検査時に子どもを支援する前に自身の防護についての必要事項について説明を受けなければならない。

5.6 参考文献

- Calama Santiago, J.A., Penedo Cobos, J.M., Molina López, M.Y., et al., 2008. Paediatric varicocele embolization dosimetric study. *Acta Urol. Esp.* 32, 833–842.
- Damilakis, J., Theocharopoulos, N., Perisinakis, K., et al., 2003. Conceptus radiation dose assessment from fluoroscopically assisted surgical treatment of hip fractures. *Med. Phys.* 30, 2594–2601.
- Health Protection Agency, 2009. Protection of Pregnant Patients During Diagnostic Medical Exposures to Ionising Radiation ; Advice from the Health Protection Agency, the Royal College of Radiologists and the College of Radiographers. HPA, Chilton, UK.
- ICRP, 2000. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84. *Ann. ICRP* 30(1).
- ICRP, 2001. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. *Ann. ICRP* 30(2).
- ICRP, 2007 a. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37(2–4).
- ICRP, 2007 b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. *Ann. ICRP* 37(6).
- Mantovani, A., Giroletti, E., 2004. Evaluation of the dose to paediatric patients undergoing micturating cystourethrography examination and optimization of the examination. *Radiol. Med.* 108, 283–291.
- Martinez, L.C., Vaño', E., Gutierrez, F., et al., 2007. Patient doses from fluoroscopically guided cardiac procedures in paediatrics. *Phys. Med. Biol.* 21, 4749–4759.
- McCollough, C.H., Schueler, B.A., Atwell, T.D., et al., 2007. Radiation exposure and pregnancy : when should we be concerned? *RadioGraphics* 27, 909–918.
- Molina Lo'pez, M.Y., Calama Santiago, J.A., Penedo Cobos, J.M., et al., 2008. Evaluation of radiological risk associated to pieloureteral surgery in paediatric patients. *Cir. Pediatr.* 21, 143–148.
- NCRP, 2009. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report 160. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- Osei, E.K., Faulkner, K., 1999. Fetal doses from radiological examinations. *Br. J. Radiol.* 72, 773–780.
- Pandit-Taskar, N., Dauer, L.T., Montgomery, L., et al., 2006. Organ and fetal absorbed dose estimates from 99 mTc-sulfur colloid lymphoscintigraphy and sentinel node localization in breast cancer patients. *J. Nucl. Med.* 47, 1202–1208.
- Righi, D., Doriguzzi, A., Rampado, O., et al., 2008. Interventional procedures for biliary drainage with bilioplasty in paediatric patients : dosimetric aspects. *Radiol. Med.* 113, 429–438.
- Radiological Protection Institute of Ireland, 2010. Guidelines on the Protection of the Unborn Child During Diagnostic Medical Exposures. Radiological Protection Institute of Ireland.
- Samara, E.T., Stratakis, J., Enele Melono, J.M., et al., 2009. Therapeutic ERCP and pregnancy : is the radiation risk for the conceptus trivial? *Gastrointest. Endosc.* 69, 824–831.
- Savage, C., Patel, J., Lepe, M.R., et al., 2007. Transjugular intrahepatic portosystemic shunt creation for recurrent gastrointestinal bleeding during pregnancy. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 18, 902–904.
- Sidhu, M.K., Goske, M.J., Coley, B.J., et al., 2009. Image gently, step lightly : increasing radiation dose awareness in pediatric interventions through an international social marketing campaign. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 20, 1115–1119.
- Strauss, K.J., Goske, M.J., Kaste, S.C., et al., 2010. Image gently : ten steps you can take to optimize image quality and lower CT dose for pediatric patients. *AJR Am. J. Roentgenol.* 194, 868–873.
- Theocharopoulos, N., Damilakis, J., Perisinakis, K., et al., 2006. Fluoroscopically assisted surgical treatments of spinal disorders : conceptus radiation doses and risks. *Spine* 31, 239–244.
- UNSCEAR, 2010. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report. United Nations, New York.

6. 訓 練

- 医療従事者に対する放射線防護訓練プログラムは、訓練参加者が関与する業務のタイプに合わせておくべきである。
- 従事者が特定の役割を果たす能力を有するかどうかは、適切な能力を有する者によって評価されるべきである。
- 訓練の主要な目的は術者が放射線防護原則、手段、手技を使い、仕事に支障をきたすことなく被ばくを低減し、画質や行おうとする臨床目的を損なわずに患者の被ばくを低減するのに役立つ業務の質的な変更を行うことである。焦点は技能の達成に置かなければならない。残念なことにこれは多くの場合、時間数の要件を満たすという形をとっている。時間数は物差しとして重要な方法であるが、職業被ばくと患者被ばくを低減する技能を有することを実際に示すことが重要な部分である。世界の多くの地域において、画像診断部門以外でX線透視に従事している医療従事者は全くか、あるいは不十分な訓練しか受けていないのが現状である。委員会は教育と訓練のレベルが放射線使用レベルに見合うべきであると勧告している (ICRP, 2009)。
- ほとんどの国の法律は、医療のための照射の責任者は放射線防護の訓練を適切に受けることを義務づけている。
- 放射線防護の訓練修了後にはその訓練プログラムから得られた知識のテスト評価をすべきである (正式な検査システム)。
- 訓練を修了した医師は、しかるべき認証試験に合格することによってカリキュラムで指定された知識を持っていることを実証できるべきである。
- X線透視手技時に補助役を務める看護師およびその他の医療従事者は、その被ばくを自他ともに最小限に抑えるため、放射線リスクと放射線防護原則に精通すべきである。
- 医学物理士は、現場の施設で行われる具体的な手技の臨床的側面に習熟すべきである。
- 訓練プログラムは、新入スタッフ全員を対象とした最初の訓練と、定期的な情報の更新や再訓練の両方から構成すべきである。
- 学会等のプログラムに放射線防護に関する再教育講習を組み入れて、それへの出席を継続的な専門能力開発の条件とすべきである。
- 訓練の実施に関する問題は最近の *Publication 113* (ICRP, 2009) で取り扱っており、以下の文章はその巻からとられたものである。

6.1 緒 論

(216) *Publication 75* において、委員会は放射線防護に関する適切かつ十分な情報の提供と訓練を求めている。これは平常時の被ばくおよび起こりうる被ばくの両方を制御するための防護の最適化原則を実行するプログラムの不可欠な構成要素と見なすべきである (ICRP, 1997)。

(217) 臨床において電離放射線が広範かつ日常的に使用されているにもかかわらず、世界中の医師は放射線防護について全くといっていいほど訓練を受けていないことがある。伝統的に、医学生は医学部時代に放射線防護について訓練を受けていない。放射線診断学、核医学、放射線治療などの放射線科を専門とする医師はその後専門教育の一環として放射線物理と放射線防護を教えられる。多くの国において、本書が主たる読者と想定している他の専門科での研修では放射線防護教育が行われていない。

(218) 従来、放射線科以外の医師には放射線物理学と放射線防護の訓練は必要なかった。というのも X 線とその他の放射線源を使用するのは画像診断部門であり、放射線防護に関して然るべき訓練を受けたスタッフが放射線源を使用していたからである。X 線透視は 1 世紀以上にわたり使用されてきたが、初期の用途は体の解剖学的位置や構造の動きまたは体内での造影剤の移動の視覚化であった。通常、これらの手技は放射線科医が行っていた。X 線透視ガイド下手技が導入されてからは他の専門家がこれらの手技を行い始めた。最初は画像診断部門で放射線科医と共同で行っていた。時を経るにつれ X 線透視装置が他の臨床科や外来患者施設に設置され、現在では X 線透視装置は、放射線科医の参加なしで放射線科以外の医師によって使用されている。これらの放射線科以外の医師は放射線科医に義務づけられている放射線物理と放射線防護の訓練条件が課されていない。今やこの訓練が欠かせないこと、したがってこれらの専門家のための具体的なガイダンスが必要であることは明らかである。

(219) 委員会は *Publication 113* (ICRP, 2009) において、インターベンシヨナリスト (IVR を行う専門医)、核医学専門医、医学物理士、看護婦、レントゲン技師/放射線技師の訓練について詳細に検討している。

6.2 カリキュラム

(220) 従来の訓練プログラムは、カリキュラム (履修課程) に基礎を置いた構造を採用している。医療以外のテーマで使用される訓練方法と医療に関するあるいは臨床に関するテーマで使用される訓練方法には基本的違いがある。物理学や生物学のような科学の訓練の多くが知識の伝達に基づくのに対し、臨床訓練においては、日々の問題を解決する技能を伝えることに

はるかに大きな重点が置かれる。医療従事者の放射線防護の訓練・プログラムは、訓練参加者が関与する業務のタイプに合わせるべきである。講義では重要な背景知識と実際的狀況についてのアドバイスを取り上げるべきである。また講義の提示方法は適切な狀況での技能を付与するために臨床狀況に沿ったものであるべきである。実践的な訓練は参加者が訓練後勤務する環境に類似した環境で実施すべきであり、臨床手技を行うために必要とされる知識と技術を提供すべきである。訓練は参加者が遭遇すると思われるあらゆる問題を扱うべきである（ICRP, 2009）。詳しくは、*Publication 113*（ICRP, 2009）を参照されたい。

6.3 誰が訓練を行うべきか？

(221) 放射線防護の主要な訓練者には通常、訓練の参加者が扱っている業務における放射線防護の専門家（通常は医学物理士）、言い換えれば、放射線を使用する臨床診療、放射線の性質、放射線の測定方法、放射線と人体の組織との相互作用、放射線によってもたらされる可能性のある影響のタイプ、放射線防護の原則と理念、国内外のガイドラインについて知識を有する人物が当たるべきである。放射線防護が世界のほとんどすべての国で法制化されており、自国の法律、個人と組織の責任を理解していることが重要である（ICRP, 2009）。

(222) 多くの狀況で放射線防護の訓練者は、実際的な知識を欠いている場合があり、理想化されたあるいは的外れな狀況に関する非現実的見地から話す可能性がある。訓練が成功するのに重要な大きな点は、訓練で取り扱わなければならない職場の実際的狀況について訓練者がまずはっきりとした理解を持っていることである。訓練は人々が日々の業務で扱う可能性があることを取り上げるべきである。放射線防護の多くの訓練者は誘惑に負けて、放射線単位や放射線と物質との相互作用といった基本的テーマ、さらには原子構造と原子放射線といったテーマさえ訓練参加者や訓練の実際目的からして過度に深く詳細に取り上げがちになる。そのような基本的テーマは教育プログラムにとっては不可欠ではあるが、説明は意味が分かる程度にとどめるべきである。訓練が成果をあげるには純粋に学術的な目的の定義に集中せず、参加者にとって情報が有用かどうかを指針とすべきである。規制要件にも同じことがあてはまる。訓練者は放射線を使う側の人のことばで話し、科学と規制要件の正確性について妥協することなく、必要な情報を伝えるべきである。病院の日々の仕事で放射線を使い放射線量を患者に照射している医療専門職者は、非常に病状の悪い患者を扱う際の実際的問題についての知識を持っている。彼らは自分たちが扱う放射線装置、時間的制約の中で数多くの患者を扱わなければならないこと、放射線測定手段、放射線防護手段の不足に関する問題を理解している。実地臨床医の講義を組み入れ、良い放射線防護事例と悪い事例について詳しく述べてもらうことが強く推奨される。放射線防護の訓練者がこれらの講義に参加し、出てきた問題にコメントしたり説明したりすることは有益と思われる（ICRP, 2009）。

6.4 どれくらいの訓練が必要か？

(223) ほとんどの人や組織は時間数を定める比較的簡単な方法を踏襲している。委員会は、教育と訓練の時間数について、いくつかの勧告を行っている。まず、これは単なるガイドラインの役割にすぎず厳格に適用すべきでない (ICRP, 2009)。これには訓練の実施や訓練活動のモニタリングという点ではメリットはあるがあくまでも目安である。

(224) どれくらいの量の訓練を行うかという問題は評価方法と連動すべきである。訓練の教育目的（すなわち、知識と技術の習得）に留意すべきである。多くのプログラムは訓練を提供することに終始し、その目的が達成されたかどうかを評価していない。プログラムによっては得られた知識を評価するために訓練前、訓練後の評価を実施しているものもあるが、実際の技能の取得を評価する訓練プログラムは少ない。最新のオンラインでのテストを使えば結果を即座に判定することができる。訓練の時間数を指定するのではなく、知識と技能を評価するための質問事項やテストのシステムの開発を促進することが適切であろう。放射線防護訓練の需要が非常に多いことから、各種団体・組織がオンライン評価システム法を開発するだけの価値があるかもしれない。委員会は主に大規模なテストを行っている団体が現在そのようなオンライン評価法を提供していることを承知している。自宅でくつろいでいるとき、自宅のパソコン、またはインターネットが利用できる場所であればどこでも利用できる自己評価テストシステムの開発が望ましい。委員会は知識と技能の評価に重要な位置を与えるよう勧告する (ICRP, 2009)。

(225) 訓練の量は、職場で使用される放射線レベルと患者または作業者の過剰被ばくの発生確率に依存する。たとえば、放射線治療は患者1例当たり数 Gy、患者群に1日あたり20-30 Gy も放射線を照射する。インターベンション手技も、特定の患者では皮膚線量が2-3 Gy 程度になると思われる。X線撮影において使用される放射線レベルはこの2つの例よりはるかに低く、間違った患者または間違った部位を照射しないかぎり重大な過剰被ばくの確率は低い。CT検査による患者の放射線量も比較的高く、したがって放射線防護の必要もそれに応じて高くなる。考慮すべきもう1つの要素は、CTのような手技が同じ患者に何度も繰り返される可能性があることである。

(226) 多くの国では血管外科医、泌尿器科医、内視鏡医、整形外科医などの専門医が、放射線専門医によりはるかに少ないか、あるいは全く訓練が与えられないまま、X線透視ガイド下で行う侵襲的手技を実施している。その専門内での狭い範囲の核医学検査を行う医師には放射線防護訓練を実施することが推奨される。

6.5 訓練に関する勧告

(227) 医療従事者に対する放射線防護訓練はそれぞれの仕事と役割に対応したものであるべきである。

(228) 患者に放射線を照射する手技に関与する医師とその他の医療従事者は、物理学と生物学の基本的原則を含めた放射線防護原則の訓練を常に受けるべきである (ICRP, 2007 a)。

(229) 放射線被ばくに対する最終的責任は、行おうとする照射を正当化する医師にある。したがってその医師は関係する手技のリスクと便益を承知しているべきである (ICRP, 2007 b)。

(230) 医学校、研修医時、専門医資格取得コースで、それぞれの医師カテゴリーの役割に応じた教育と訓練を実施すべきである。訓練の評価、および履修者が訓練を修了したというしかるべき認定を行うべきである。さらに、電離放射線を利用する手技の実施に関わる、あるいは電離放射線による診断または治療を受けている患者のケアに関わる他の臨床スタッフに対してもそれに対応する放射線防護の訓練要件を定めるべきである (ICRP, 2007 b)。

(231) 学会や専門職者の団体は、講義概要の作成や教育と訓練の普及・支援に貢献すべきである。学会等には放射線防護に関する再教育コースを組み入れ、そのコースへの出席を電離放射線を使用する専門家として継続的な専門能力開発の要件とすべきである。

(232) 電離放射線の使用により直接的に関与する専門職者は、自身の職歴開始時に放射線防護の教育と訓練を受け、このテーマについての知識の集積の発展に応じて、勤続期間を通じて教育プロセスを継続すべきである。新しい設備や技術が医療施設に導入されるごとに、それに関連する放射線防護側面に関する具体的な訓練を組み入れるべきである。

(233) X線透視手技中にそれを補助する看護師とその他の医療従事者は、自らの被ばくと他の従事者の被ばくを最小限にするため、放射線リスクと放射線防護の原則に習熟すべきである。

(234) 医学物理士は、現場の施設で行われている具体的な手技の臨床面に習熟すべきである。

(235) 訓練・プログラムは、新入スタッフ全員を対象とする最初の訓練と定期的な情報の更新や再訓練の両方から構成されるべきである。

6.6 参考文献

ICRP, 1997. General principles for the radiation protection of workers. ICRP Publication 75. Ann. ICRP 77(1).

ICRP, 2007 a. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).

ICRP, 2007 b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37(6).

ICRP, 2009. Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures. ICRP Publication 113. Ann. ICRP 39(5).

7. 勧 告

- 画像診断部門の管理外にある施設での放射線防護適用の軽視を是正する必要がある。
- 画像診断部門以外の X 線透視施設の従事者と患者には高い放射線リスクが存在する。その主たる原因は、従事者に対する放射線防護の訓練が多くの国で不足していることにある。
- EVAR, 腎動脈血管形成術, 腸骨動脈血管形成術, 尿管ステント留置, 治療的 ERCP, 胆管ステント留置およびドレナージなどのいくつかの手技では、放射線が皮膚傷害のしきい値を上回るレベルに達する。適切な注意を払わなければ将来患者の放射線傷害が生じる。
- 多くの患者が長年にわたり定期的に繰り返し放射線照射を必要とし、そして少なくない数の患者が終生それを必要とする。場合によっては経過観察 1 年ごとの実効線量が数十 mSv に達すると推定される。残念なことに、このことに対し必要な注意が払われてこなかった。委員会は目指す臨床結果が得られ、かつそして最も低い被ばくを達成するために防護の正当化と最適化の適用に直ちに注意を払うよう勧告する。
- 従事者は患者の線量を表すために X 線透視装置で使用されている放射線の線量に詳しくなるべきである。
- 最新の高性能な機器を使用するには、患者線量に影響を及ぼす機能や、どうすれば患者の線量を管理することができるかについての理解が必要となる。
- 手術室の X 線透視装置の場合、特有の問題によって従事者を防護する放射線遮蔽スクリーンの使用が難しくはなるが不可能ではない。そのような職業被ばく防護措置を使用すべきである。
- メーカーは、手術室で X 線透視装置を使用する従事者の防護に臨床的処置を妨げることなく使用できる遮蔽スクリーンを開発すべきである。
- メーカーは、病院ネットワークへ転送できる患者線量報告を作成することができる患者線量インデックス表示システムを開発すべきである。
- メーカーは、スタッフの広範な協力を必要としなくても代表的な職業被ばく線量を計算できる装置を開発することが望まれる。
- 患者に放射線を照射する手技に関与する医療専門職は、常に放射線防護の訓練を受けるべきである。委員会は、放射線使用状況に見合ったレベルの放射線防護の訓練を実施するよう勧告する。
- 医療従事者は規制において示されている自身の責任を認識しているべきである。

- 学会や専門職者の団体は講義概要の作成や教育と訓練の普及・援助に貢献すべきである。学会等に放射線防護に関する再教育講習を組み入れ、それへの出席を電離放射線を使用する専門家として継続的な専門能力開発の要件とすべきである。

付属書 A. 線量と単位

(A 1) 定量的な方法で人の放射線被ばくを評価するには線量の数値が必要である。これは電離放射線の健康への影響の線量反応関係を記述するために必要であり、そしてそれは防護規格の設定と被ばくレベルの定量化の基礎となる。

(A 2) 組織の吸収線量は体の組織で単位質量あたりに吸収されるエネルギーである。吸収線量の単位は J/kg (1 キロあたりのジュールで表すエネルギー量) であり、その特別単位名称はグレイ (Gy) である。低線量に対しては、臓器または組織の平均された吸収線量の値は確率的影響による放射線損害に関連付けることができると仮定される。人体の組織または臓器の吸収線量の平均化とその加重により導かれる数値は、防護量の定義の基礎をなすものである。

(A 3) 確率的影響の発生を容認できないレベル未満に抑え、組織反応の回避を確実にするために、リスク評価とリスク管理に使用するのが防護量である。臓器または組織の平均吸収線量は、「臓器吸収線量」または単に「臓器線量」と呼ばれる。

(A 4) 臓器または組織の等価線量は、被ばくに伴う放射線の生物学的効果比を考慮した放射線加重係数を臓器線量にかけ合わせた値である。この放射線加重係数は X 線での数値は 1 である。等価線量は吸収線量と同じ SI 単位を使用するが、両者を区別するため、等価線量は「シーベルト」(Sv) と称される。

(A 5) 医療被ばくにおいては複数の臓器が照射を受けるため確率的リスクの評価は複雑である。委員会は影響を受けるすべての組織と臓器の等価線量の加重和として「実効線量」という数量を導入している。これは確率的影響の合計とよく相関するようにさまざまな組織のそれぞれ異なる線量の合計として表わしている。したがってこれはたとえ人体上の吸収線量分布が均一でない場合にも適用できる。実効線量には等価線量と同じ単位と特別単位名称が使用されている (すなわち J/kg と Sv)。

(A 6) ある特定の組織の吸収線量は物理量であるが、等価線量と実効線量は放射線の生物学的知見および疫学的知見に基づく加重係数を含んでいる。実効線量の主たるそして第一義的な用途は、職業被ばくと公衆被ばくの線量限度が遵守されていることを示す手段を提供することにある。この意味において、実効線量は規制の目的で世界中で使用されている。実効線量は確率的影響 (発がんや遺伝的影響) の発生を制限するために使用されるものであり、組織反応の可能性の評価には適用されない。

(A 7) 患者の被ばくを評価する方法として実効線量を使用するには、医療従事者が考慮し

なければならぬ厳しい制約がある。実効線量は、異なる診断手技による線量やまた数少ない特殊な治療手技による線量を比較する場合、あるいは異なる病院や国のあいだで同じような技術や手技の使用状況を比較する場合、同じ医学検査に異なる技術を使用する場合の比較に有用と思われる。しかし、患者の被ばく計画立案とリスク/利益評価には等価線量一望ましくは照射を受けた組織の吸収線量のほうが数量としては適切である。これはリスク評価を意図している場合には特に当てはまる (ICRP, 2007)。

(A 8) 集団線量は、実効線量の総量に被ばくした集団の大きさを掛け合わせた値の尺度である。集団線量は通常、人-Sv の単位で表される。

A.1 患者線量を評価するための数量

(A 9) 空気カーマ (物質中に放出される運動エネルギー) は、空気単位質量あたりの X 線光子によって放出されるすべての電子の持つ初期運動エネルギーの合計である。X 線手技で使われる光子エネルギーの場合、空気カーマは自由空気中の吸収線量と数値的に等しい。ただし、境界周囲の空気中に見られるような二次電子の平衡が存在しない場合はこれに該当しない。空気カーマの単位は、J/kg または Gy である (ICRU, 2005; IAEA, 2007)。

(A 10) 過去の論文には、空気の吸収線量として測定値を表していたものがいくつかあった。最近の論文は、空気の吸収線量を測定する、特に境界近傍で測定する、ことが実験的に困難であることを指摘している。現実には、線量測定装置が記録するものは空気が放射線から吸収するエネルギーでなく、電離によって生じた荷電粒子へ放射線が変換するエネルギーである。これらの理由から ICRU (2005) は空気の吸収線量ではなく、空気カーマを使用することを推奨している。空気カーマは入射表面空気カーマ (入射表面空中線量ではなく) やカーマ・面積積 (DAP ではなく) などの空気中で決定される数量に適用される。この見解はあるものの、本報告書の一部ではいずれも空気中の数量について「DAP」や「入射表面線量」をそのまま使用している。これはこれらの単位が列挙した参考文献で使用されていることと、読者にとってその方がなじみがあるからである。

(A 11) 放射線診断学ではしばしば入射 (incident) 空気カーマ (K_i) が使用される。これは焦点-皮膚間距離 (すなわち皮膚入射面) での中央 X 線ビーム軸上の入射ビームによる空気カーマである。入射空気カーマは、校正済みの電離箱を使って測定された X 線管出力から計算することができる (ICRU, 2005)。

(A 12) 入射 (entrance) 表面空気カーマ (K_e) は、X 線ビームが患者に入ってくる点における中央の X 線ビーム軸上の空気カーマである。後方散乱放射線の寄与は後方散乱係数 (B) を通じて組み入れられる。したがって式は $K_e = B \cdot K_i$ となる。後方散乱係数は X 線スペクトル、X 線照射野のサイズ、患者またはファントムの厚みと組成に依存する。放射線診断および

IVRにおける後方散乱係数の標準的な値は、1.2から1.6である（ICRU, 2005）。入射表面空気カーマの単位はGyである。入射表面空気カーマは適切な後方散乱係数を使って入射空気カーマから計算するか、患者の皮膚上の代表的点に小型線量計（熱ルミネセンス線量計または半導体）を置き、それを使って直接決定することもできる。

（A 13） 診断目的でのX線撮影における参考レベルを設定するためあるいはインターベンション手技における最大皮膚線量を評価するための数量として、入射空気カーマと入射表面空気カーマを使用することが推奨される（ICRU, 2005）。

（A 14） 入射（incident）空気カーマと入射（entrance）表面空気カーマからはX線ビームの範囲に関する情報は得られない。しかし、空気カーマとX線ビームの面積 A の積である面積空気カーマ積算値（ P_{KA} ）によってこの情報が得られる。

（A 15） 面積空気カーマ積算値の共通単位は $Gycm^2$ である。 P_{KA} はX線管焦点からの距離に対してほぼ不変であるという有用な特性を持っている。この値はコリメータ・システムに取り付けた特別設計の透明な電離箱を使ってX線源と患者の間の平面で測定するか、あるいはデジタルシステムでは発生器のデータとデジタル記録された絞りの位置を用いて計算できる（ICRP, 2001）。面積空気カーマ積算値は、従来のX線撮影とX線透視などの複雑な手技における診断参考レベルを確立するための数量として推奨される。それは患者と術者の確率的影響に対する線量管理に役立つ（ICRP, 2001）。

（A 16） 放射線科では、まず放射線量値を測定して、それを変換係数を使って臓器線量と実効線量に換算するのが一般的なやり方である。これらの変換係数は、線量とある特定の指定された組織との比または実効線量を正規化数量によって除した値と定義される。入射（incident）空気カーマ、入射（entrance）表面空気カーマ、面積カーマ積算値を正規化数量として使用することができる。主な手技について、面積空気カーマ積算値または入射表面カーマを実効線量に変換する変換係数を表A.1で示している。

A.2 職業被ばく線量評価のための数量

（A 17） 職業被ばくにおける線量限度は、特定の組織における組織反応の等価線量として表され、かつ全身の確率的影響に対する実効線量として表される。等価線量を組織反応に使用する場合には、等価線量は組織反応のしきい値に近づいているかどうかの指標となる。

（A 18） 委員会（ICRP, 1991, 2007）により確率的影響（実効線量の線量限度）と組織反応（関連した組織の等価線量の線量限度）についての職業被ばく線量限度が勧告されている。表2.1に提示しているように、線量限度はmSvの単位で示される。診断手技およびインターベンション手技でのX線エネルギーについては、mGyで表される吸収線量の数値はmSvで表される等価線量の数値と基本的に等しい。

表 A.1 おもな X 線手技における成人の面積空気カーマ積算値と入射表面カーマを実効線量に変換する変換係数 (EC, 2008 ; NCRP, 2009 ; HPA, 2010)

グループ	検査	変換係数 (mSv/Gycm ²) (NCRP, 2009)	変換係数 (mSv/Gycm ²) (EC, 2008)	変換係数 (mSv/Gycm ²) (HPA, 2010)	変換係数 (mSv/mGy) (HPA, 2010)
尿路および腎臓検査	膀胱造影	0.18			
	排尿時膀胱尿道造影	0.18			
	順行性腎盂撮影	0.18			
	腎瘻造影	0.18			
	逆行性腎盂撮影	0.18			
	経静脈性尿路造影		0.18		
内視鏡的逆行性胆管瘻管造影	0.26				
整形外科および関節	大腿骨 AP	0.01		0.036	0.023
	大腿骨 LAT			0.0034	0.002
	膝関節 AP			0.0034	0.001
	膝関節 LAT			0.003	0.001
	足(足背足底方向撮影)			0.0032	0.001
	足(斜方向撮影)			0.0032	0.001
産科および婦人科	骨盤計測	0.29			
	子宮卵管造影	0.29			
腎臓	逆行性腎盂撮影	0.18			
	腎瘻造影	0.18			
上部消化管バリウム検査			0.2		
バリウム注腸検査			0.28		
バリウム経口の小腸造影			0.22		
心臓血管造影法			0.2		
経皮経管の血管形成術 ステント	ステントを用いた腎動脈/ 内臓動脈経皮的経管の血管 形成術(すべて)	0.26			
	ステントを用いた腸骨動脈 経皮経管の血管形成術(す べて)	0.26			
	胆管拡張およびステン ト留置	0.26			
放射線撮影	胸部(PA + LAT) 低kV		0.10		
	胸部(PA + LAT) 高kVp		0.18	0.158/0.125	0.131/0.090
	胸椎		0.19	0.244/0.093	0.094/0.031
	腰椎		0.21	0.224/0.092	0.116/0.027
	腹部		0.26	0.180	0.132
	骨盤		0.29	0.139	0.099
	股関節		0.29	0.13	0.064
骨格サーベイ	上肢, 下肢, 頭蓋骨 LAT, 腰椎 LAT, 胸部 AP, 腹部/骨盤 AP の平均			0.09	
	脊柱全体/脊柱側弯症			0.22	
	頸椎, 胸椎および腰椎の平 均 (AP + LAT)			0.16	

AP: 前後方向, PA: 後前方向, LAT: 側方向, EC: 欧州委員会, HPA: 英国健康保護庁

(A 19) 従事者の主な放射線源は患者の体であり、患者の体がX線透視時およびX線撮影時にあらゆる方向に放射線を散乱させる。個人線量計を着用すべきであり、それで測定した線量は実効線量の代わりとして使用することができる。皮膚、手、足、眼の水晶体の線量をモニターするには、特別な線量計（例えばリング線量計）を使用すべきである（ICRP, 2001）。線量測定に使用する器具は、実効線量および等価線量の実際の測定と評価のために定められた実用量に関して校正されるのが一般的である（ICRU, 1993）。

A.3 参考文献

- European Commission, 2008. European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures. Radiation Protection 154. European Commission, Luxembourg.
- Health Protection Agency, 2010. Frequency and Collective Dose for Medical and Dental X-ray Examinations in the UK, 2008. HPA-CRCE-012. Health Protection Agency, Chilton.
- IAEA, 2007. Dosimetry in Diagnostic Radiology: an International Code of Practice. IAEA Technical Report Series 457. IAEA, Vienna.
- ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3).
- ICRP, 2001. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30(2).
- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
- ICRU, 1993. Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry. ICRU Report 51. ICRU Bethesda, MD.
- ICRU, 2005. Patient Dosimetry for X-rays Used for Medical Imaging. ICRU Report 74. ICRU Bethesda, MD.
- NCRP, 2009. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report 160. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.

ICRP Publication 117

画像診断部門以外で行われる
X線透視ガイド下手技における放射線防護

2017年3月31日 初版第1刷発行

監修 米倉義晴

翻訳 内山眞幸

編集 ICRP 勧告 翻訳 検討 委員会

発行 公益社団法人日本アイソトープ協会

〒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

URL <http://www.jrias.or.jp>

© The Japan Radioisotope Association, 2017

Printed in Japan

組版 株式会社 恵友社

ISBN 978-4-89073-260-9 C3347

【非売品】