

循環器診療における放射線被ばくに関するガイドライン

Guidelines for Radiation Safety in Interventional Cardiology (JCS 2006)

合同研究班参加学会：日本循環器学会，日本冠疾患学会，日本心血管インターベンション学会，日本心臓病学会，
日本心臓血管カテーテル治療学会，日本心電学会，日本皮膚科学会，日本不整脈学会，
日本放射線安全管理学会，日本放射線技術学会

班 長 永 井 良 三 東京大学大学院医学系研究科循環器内科
班 員 粟 井 一 夫 東京都病院放射線科
家 坂 義 人 土浦協同病院内科
石 綿 清 雄 虎の門病院循環器センター内科
菊 池 透 自治医科大学RIセンター
櫻 田 春 水 東京都立広尾病院循環器科
庄 田 守 男 東京女子医科大学心臓病センター循環器内科
宋 寅 傑 昭和大学横浜北部病院皮膚科

谷 樹 昌 駿河台日本大学病院循環器科
西 谷 弘 徳島大学放射線医学教室
平 田 恭 信 東京大学大学院医学系研究科循環器内科
水 谷 宏 松山赤十字病院中央放射線室
山 口 一 郎 山形県村山保健所
山 下 尋 史 東京大学大学院医学系研究科循環器内科

外部評価委員

和 泉 徹 北里大学循環器内科学
大 江 透 岡山大学大学院医歯学総合研究科循環器内科

上松瀬 勝 男 駿河台日本大学病院循環器科
山 口 徹 虎の門病院

（構成員の所属は2006年11月現在）

目 次

I. 本文

1. ガイドラインの策定にあたって
2. 放射線被ばく管理の基礎知識：
 - A. 患者と医療従事者の被ばくの違い
 - B. 確率的影響と確定的影響
 - C. 放射線を測ること：(1) X線の空気カーマ
(2) 組織吸収線量
(3) 等価線量
(4) 実効線量
3. 放射線皮膚障害の臨床
 - A. 重症度分類と臨床経過
 - B. 症例呈示

II. 各論 (Q/A)

1. 放射線被ばく管理の基礎知識：
 - A. 確率的影響と確定的影響
 - B. 皮膚吸収線量と実効線量
 - C. しきい線量

- D. 許容できる被ばく線量の目安
2. 放射線皮膚障害の基礎知識：
 - A. PCIにおける放射線皮膚障害
 - B. 放射線皮膚障害の好発部位
 - C. 放射線皮膚障害と鑑別を要する皮膚症状
3. インフォームド・コンセントと過剰な被ばく・放射線皮膚障害発生時の対応：
 - A. 放射線障害に関する説明必要事項
 - B. PCI手技中の説明・同意とその後の対応
 - C. 過剰な線量の被ばく後の説明と対応
 - D. 放射線皮膚障害が発生した場合の対応
4. 被ばく線量に影響する因子：
 - A. 透視と撮影時の被ばく線量の違い
 - B. 照射パルスレートの影響
 - C. 患者の体型による影響
 - D. イメージ・インテンシファイア(II)と患者の距離
 - E. X線管と患者の距離

- F. 透視野の大きさ
- G. 絞りの影響
- H. 透視・撮影角度の影響
- I. 体内中心部の被ばく
- J. 付加フィルタの影響
- K. 透視・撮影装置の影響
- L. フラットパネル・ディテクタ式透視撮影装置
- M. ベースメーカーおよびリード線の影響
- N. 透視・撮影野に上腕が入る場合の影響
- 5. 患者の被ばく線量低減のための工夫：
 - A. 被ばく線量低減の原則
 - B. 患者の皮膚以外の被ばく
 - C. 緊急検査・治療時の被ばくについての考え方
 - D. シングルプレーン撮影装置使用時の注意点
 - E. バイプレーン撮影装置使用時の注意点
- 6. 放射線皮膚障害の発生に影響するその他の因子：
 - A. 放射線皮膚障害の発生しやすい患者側の因子
 - B. 被ばく間隔の影響
- 7. 医療従事者の被ばく線量低減のための工夫：
 - A. 医療従事者の被ばく
 - B. 術者と助手の被ばく線量の違い
 - C. 個人線量計の使用法
 - D. 防護衣の種類と効果・鉛当量の影響
 - E. 防護衣の保守・管理
 - F. ゴーグル・頸部プロテクタの効果
 - G. 撮影室に装備が推奨される防護装置と使用法
 - H. 背後・下方からの散乱線の影響
 - I. 検査室内の線量分布
 - J. 女性医療従事者の妊娠
 - K. 医療従事者への教育・再教育
 - L. 労災認定の要件
- 8. 撮影装置の管理：
 - A. 撮影装置の保守管理
 - B. 被ばく低減のための装備
- C. 基準線量とインターベンショナル基準点
- 9. 患者の被ばく線量測定法：
 - A. 線量測定の注意点
 - B. 線量計の種類
 - C. 面積線量計（DAP）
 - D. スキンドースモニター
 - E. RadiMap®
 - F. 最大線量入射位置
 - G. Numerical Dose Determination（NDD）法
 - H. PEMNET®とケアグラフ®
 - I. 患者の被ばく線量測定機関
- 10. 冠動脈以外へのインターベンション：
 - A. 頭頸部 IVR 施行時の注意点
 - B. 経皮的下肢動脈形成術（PTA）施行時の注意点
- 11. 電気生理学的検査・治療：
 - A. カテーテル・アブレーションを受ける患者の被ばく線量
 - B. 小児症例における注意点
- 12. 核医学検査：
 - A. タリウム心筋シンチグラフィと同日ないし翌日に PCI を施行する場合の注意点
 - B. タリウム心筋シンチグラフィ検査従事者の被ばく
 - C. 放射性医薬品が皮下漏出した場合の注意点
 - D. 小児に対する核医学検査
- 13. CT 検査：
 - A. 冠動脈 CT 検査を受ける患者の被ばく線量
 - B. 検出器の多列化の影響
 - C. 頻回の CT 検査の影響
 - D. ペースメーカー・植え込み型除細動器（ICD）への影響
- 14. 妊娠患者に対する検査・治療
- 15. 海外における放射線防護の現状

（無断転載を禁ずる）

質問一覧

- Q1：放射線による影響には確率的影響と確定的影響とがありますが、何が違うのですか。また、放射線防護においてどのように区別して考えればよいのでしょうか。
- Q2：PCI を受ける患者さんの皮膚吸収線量（放射線皮膚障害のリスク指標）と実効線量（発がんのリスク指標）の関係を教えてください。
- Q3：多くの放射線障害には「しきい線量」があります。「しきい線量」とはどういうことで、防護上どのように考えればよいのでしょうか。
- Q4：何グレイくらい被ばくすると、患者さんは皮膚紅斑、皮膚潰瘍などの合併症をきたす可能性がありますか。それは冠動脈造影だと何分くらいの照射にあたりますか。

- Q5：放射線被ばく線量が何グレイになったら注意すべきでしょうか。また何グレイで検査を中止すべきでしょうか。
- Q6：PCI は患者さんの受ける線量が多いそうですが、本当でしょうか。
- Q7：PCI では患者さんに放射線障害が生じることがあると聞きます。被ばく線量と、障害の関係を教えてください。
- Q8：PCI では透視による被ばくが多いと聞きましたが本当でしょうか。
- Q9：PCI で右背部に皮膚障害が多いのはなぜですか。
- Q10：被ばくによる皮膚紅斑と鑑別を要する皮膚症状はありますか。
- Q11：CAG や PCI を行う前のインフォームド・コンセントで、放射線障害についてはどのようなことを説明すべきでしょうか。いたずらに患者さんの不



- 安を強めることになるのが心配です。
- Q12: PCI 施行中に透視時間が長くなり、患者さんの被ばく線量が皮膚障害を起こす可能性のある線量に近づいた時、手技を続行するか、中止するかは決定はどのように行えばよいでしょうか。
- Q13: カテーテル・インターベンション施行後に患者さんの被ばく線量が、皮膚障害発生のしきい線量を超えた可能性があることが分かった場合、どうように対処すればよいのでしょうか。
- Q14: 放射線皮膚障害が起こる可能性のある線量が照射された場合、患者さんにはどのように説明すればよいでしょうか。
- Q15: 皮膚障害を発生する可能性のある線量が照射された場合、記録に残す必要がありますか。必要であれば、記載方法と書式を教えてください。
- Q16: 軽微な急性皮膚炎で速やかに寛解したような場合に、その後の外来診療で何らかの投薬や皮膚科通院が必要でしょうか。
- Q17: 透視と撮影で患者さんの受ける線量率はどのくらい違うのでしょうか。
- Q18: 透視のパルスレートや撮影の画像収集レートを下げるとどの程度被ばく線量を減らすことができるのでしょうか。
- Q19: 患者さんの体格によって被ばく線量はどのくらい違うのでしょうか。
- Q20: なぜ II を患者さんから離すと被ばく線量が増えるのですか。また、その場合術者の被ばく線量はどのようになりますか。
- Q21: 被ばく低減法に「患者さんをできるだけ X 線管から離す」とありますが、なぜですか。検査台が低いと、術者の被ばく量はどのようになりますか。
- Q22: PCI ではガイドワイヤやステントの鮮明な画像を得るため、拡大視野を多用しますが、患者さんの受ける線量はどのくらい変化しますか。
- Q23: 照射野を絞ると本当に患者さんの被ばく線量は減りますか。
- Q24: LAO cranial view および LAO caudal view では患者さんの皮膚吸収線量が多いと聞きましたが、どうしてなのでしょう。また、どうすれば線量を減らせるのでしょうか。
- Q25: 皮膚への X 線入射部位を固定しないように照射方向を変えた場合に、患者さん体内中心部の線量が増加することはありますか。
- Q26: 付加フィルタを使用すると、どのくらい患者さんの皮膚吸収線量が減少しますか。
- Q27: 撮影装置によって透視の線量は違うのですか。
- Q28: フラットパネル・ディテクタ (FPD) 式撮影装置では、一般に被ばく線量を軽減できるといわれていますが、かえって増加することもあると聞きました。どのような場合に増加するのでしょうか。また、使用上の注意点はなんのでしょうか。
- Q29: 照射野にペースメーカー本体やリード線が入ると、被ばく線量が増加するのはどうしてですか。
- Q30: 照射野に腕 (上腕) が入っている場合、患者さんの受ける線量は変化しますか。また、皮膚障害防護上の注意点はなんですか。
- Q31: PCI 時の患者さんの被ばく線量を減らす方法を教えてください。
- Q32: カテーテル検査時に術者は防護用具で甲状腺、腹部、生殖器などを防御していますが、患者さんのそれは防護しなくてよいのでしょうか。
- Q33: 急性心筋梗塞の患者さんに PCI をしています。線量をモニターしていたら、皮膚障害を起こす可能性のある線量を超えましたが、ほかに治療法がないので途中で止めることができません。皮膚障害を起こさないで検査を継続する方法はないのでしょうか。
- Q34: シングルプレーン撮影装置を使用する場合の注意点を教えてください。
- Q35: バイプレーン撮影装置を使用する場合の注意点を教えてください。
- Q36: 放射線皮膚障害が起こりやすい患者さんはいますか (年齢、体格、部位、基礎疾患、薬剤など)。また、放射線皮膚障害の起こりやすさに年齢差はありますか。高齢者は特に皮膚障害を起こしやすいのならば、restudy CAG を行う際にも年齢を考慮した方がよいのでしょうか。
- Q37: 1 回の入院期間に多枝病変に対する PCI を行う場合や、再狭窄を繰り返す病変に対し PCI を反復して施行する場合に、被ばくの影響は蓄積されるのでしょうか。蓄積されるのであれば、どのくらいの間隔をあければよいのでしょうか。また、放射線照射量が多くなってきた患者さんにおいて、restudy などの検査の間隔を長くすることによって、放射線障害のリスクを低減させることはできないのでしょうか。皮膚障害が現れつつある症例のみならず、その兆候が現れていない症例においても、検査間隔を長くすることにより将来皮膚障害が生じにくくなる、ということはないのでしょうか。

- Q38: 術者の被ばくには X 線管から照射される放射線ではなく、患者さんの身体から発生する放射線が重要であると聞きましたが、どういうことでしょうか。
- Q39: PCI 従事者は被ばく線量が多く、放射線障害が心配です。従事者の放射線障害について教えて下さい。また、年間どのくらい PCI や冠動脈造影検査に従事したら健康に影響がでるのでしょうか。
- Q40: 冠動脈造影検査において、術者と助手の立つ位置の違いによる被ばく線量の違いについて教えてください。
- Q41: 個人線量計 (ガラス線量計や OSL 線量計) には、頭部用、胸部用がありますが、それぞれどの位置に装着すべきなのでしょうか。また、プロテクタの下のどこに装着すべきなのでしょうか。
- Q42: リングバッジは手技の妨げになるので装着したくありません。リングバッジを使わずに術者の手指の被ばく線量を推計する方法を教えてください。
- Q43: 術者の手指に付けた線量素子の指示値から、術者の手指の被ばく線量を推計する方法を教えてください。
- Q44: 術者の頸部に付けた線量計の指示値から、術者の水晶体の被ばく線量を推計する方法を教えてください。
- Q45: PCI 時に着用する防護衣はどのようなものを選びたいでしょうか。鉛当量 0.25 mm と 0.35 mm のプロテクタがありますが、装着した場合の被ばく線量は、装着しない場合に比較してどの位なのでしょうか。0.35 mm の方が少ないのか、0.25 mm で十分なのか教えてください。
- Q46: プロテクタには、背部に鉛が入っていないエプロン型、背部にも鉛が入っているコート型、上下セパレート型などがありますが、放射線被ばく軽減に効果の差はありますか。また、理想のプロテクタはどれでしょうか。
- Q47: 防護衣にも寿命があると聞きましたが、防護衣の正しい品質管理方法を教えてください。
- Q48: 毎日多くの PCI を施行しており、自身の被ばくが心配です。PCI 時に使用する防護用具として、防護衣以外に身につけるもので有効なものを教えてください。また、装着することにより被ばく線量はどの位軽減されるのでしょうか。
- Q49: PCI を行う検査室に備えておくに役に立つ防護用具の種類と、その有効な設置位置・使用法を教えてください。
- Q50: 検査室には可動性の含鉛アクリル板が設置されています。術者防護に最も効果的な位置を教えてください。
- Q51: 放射線は物質に当たると散乱しますが、検査室の床面で散乱した X 線が下方向から生殖器に及ぼす影響はどの程度でしょうか。また、防護衣の着用でどの程度防護できるのでしょうか。
- Q52: PCI 時の検査室内の線量分布を教えてください。
- Q53: 緊急時に透視をした状態で、プロテクタを着用して電気的除細動を行う場合の注意事項を教えてください。
- Q54: 透視下で手技を行う場合に、被ばくを低減させるための術者手指のポジショニングのコツを教えてください。
- Q55: 血管撮影に従事している女性医師ですが、妊娠したことが分かりました。今後はどのように対応すればよいでしょうか。
- Q56: PCI に従事する医師・看護師・技師に対する放射線に関する教育・再教育は、どのように義務づけられているのでしょうか。
- Q57: 放射線診療従事者が放射線障害を発症した場合に、労災が認定される要件を教えてください。
- Q58: 血管撮影装置の品質を維持するために、ユーザーが留意することを教えてください。
- Q59: 新しい血管撮影装置には安全に PCI を施行するための色々な機能が付いていると聞きました。そのような装置を使用すれば患者さんの皮膚障害は起きないのでしょうか。
- Q60: 基準線量とはどのような線量ですか。また、インターベンショナル基準点とはどのようなものですか。また、その利用方法を教えてください。
- Q61: PCI における患者さんの受ける線量を測定する場合の注意点を教えてください。
- Q62: 患者さんの被ばく線量測定に使用する線量計にはどのようなものがあるか教えてください。
- Q63: 面積線量計 (DAP) で表示される線量と、実際の患者さんの被ばく線量の関係について教えてください。
- Q64: 患者さんの受ける線量を測定するためスキンドースモニター (SDM) を購入しました。有効な使用方法を教えてください。
- Q65: RadiMap® について教えてください。
- Q66: 患者さんの最大線量入射位置を把握する方法を教えてください。
- Q67: Numerical Dose Determination (NDD) 法について

教えてください。

- Q68: PEMNET®とケアグラフ®について教えてください。
- Q69: 患者さんの線量測定をサービスする測定機関などがあれば教えてください。
- Q70: 内頸動脈ステントニングなど、頭頸部の IVR 施行時に注意することを教えてください。
- Q71: 下肢 PTA 施行時に注意することを教えてください。
- Q72: カテーテル・アブレーションやペースメーカー植え込みなどの電気生理学的検査・治療時の放射線被ばくが、PCI のそれと異なる特徴はありますか。また、防護上特別な注意点はありますか。
- Q73: カテーテル・アブレーションにおいて、右肩甲骨下と右上肢の皮膚障害の事例が多いのはどうしてですか。
- Q74: 小児症例における注意点はありますか。長時間の上肢の挙上で麻痺が生じることがあると聞きましたが、有効な予防法はありますか。
- Q75: 心筋 viability の評価として TI-201 を使用した場合に、TI-201 投与日や翌日に心臓カテーテル検査を行う場合の注意点を教えてください。患者さんの血液、カテーテル器具の放射性医薬品による汚染はどのように考えるべきでしょうか。
- Q76: タリウム心筋シンチグラフィの核種の静注を担当していますが、手指や体幹部への被ばくはどの程度でしょうか。また、被ばく低減の方法はあるのでしょうか。
- Q77: 心筋シンチグラフィの際、放射性医薬品を患者さんの皮下に注入してしまいました。対応方法を教えてください。
- Q78: 虚血性心疾患を疑う小児例（川崎病の経過観察、先天性冠動脈奇形など）に対して心臓核医学検査を行う場合の、適応や被ばくの影響はどのように考えるべきでしょうか。
- Q79: 最近、多列検出器コンピューター・トモグラフィ（MDCT）で冠動脈病変を評価する機会が増えていますが、平均的な被ばく線量はどれくらいなのでしょう。また、CAG との比較ではどうでしょうか。
- Q80: 冠動脈造影検査と同様に、CT でも体格の違いによって被ばく線量は異なりますか。また、それは臨床的には問題になる程度でしょうか。
- Q81: MDCT の検出器の数が多くなると、患者さんの被ばく線量は多くなるのでしょうか。また、通常の大血管 CT との被ばく線量の違いはどのくらいでしょうか。

- Q82: 冠動脈疾患の診断や、胸・腹部大動脈瘤の経過観察手段として MDCT が用いられることが増えていますが、反復する CT 検査にともなう被ばくに関してはどのように考えるべきでしょうか。
- Q83: ペースメーカーや植え込み型除細動器（ICD）を植え込んだ患者さんに CT 検査を行う場合の注意点はありますか。
- Q84: 妊娠中期以降の妊婦に対するカテーテル検査の留意点はありますか。
- Q85: 海外と日本において実際の被ばく線量の違いはありますか。また、放射線防護の規制に違いはありますか。

I 本文

1 ガイドラインの策定にあたって：

血管インターベンションの隆盛に伴い、患者の放射線皮膚障害の報告が増加している。血管インターベンション時の皮膚障害については、1990年代半ばから米国FDAや日本医学放射線学会から警告が発せられていた。しかしながら虚血性心疾患や不整脈という生命に関わる疾患を対象とするためか、循環器医の間では放射線皮膚障害への関心が必ずしも浸透していなかった。インターベンションは益々高度化し適応も拡大されている。これによって患者の放射線皮膚障害の増加とともに、白内障や甲状腺機能低下症などの術者における健康障害も懸念されている。

インターベンションに従事する医師がすべて放射線に関する基礎知識を備えているわけではなく、適切な教育・研修が必要である。また看護師や放射線部以外の技師にとっても、業務に従事する間の被ばく線量やその影響を理解しておくことは重要である。このような状況を鑑み、2001年に13学会が参加した医療放射線防護連絡協議会により、「IVR等に伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン」がまとめられた。このガイドラインはQ & A形式で、わかりやすく解説されており、循環器医にとっても極めて有用である。残念ながら循環器医の間ではその存在が必ずしも知られていない。また、循環器医からみた素朴な疑問や、PCIやカテーテル・アブレーションなどの循環器に特有な疾患への対応、さらにインフォームド・コンセントのあり方等については、

よりわかりやすいガイドラインが必要と考えられた。なお最近、米国でも循環器医向けのガイドラインが策定され公表された。

本ガイドライン作成にあたっては医療放射線防護連絡協議会のメンバーの方々に多大なる貢献をいただいた。スタイルは Q & A 形式とし、わかりやすい図表が多用されているため、放射線医学の専門知識をもたない循環器医への教育、研修に役立つと思われる。本ガイドラインが患者と医療従事者の安全のために活用されることを願っている。

【参考文献】 1

2 放射線被ばく管理の基礎知識：確率・確定的影響、吸収線量・実効線量、線量単位 (Gy/Sv)

A 患者と医療従事者の被ばくの違い

心臓カテーテル検査は X 線を患者に照射して得られる画像を利用して診断治療を行う手技である。その際、X 線装置 (X 線管焦点) から直接患者に照射されるものを一次 X 線という。一方、患者に入射した X 線は患者の身体を構成している原子の軌道電子と衝突し、軌道電子をはじき出してエネルギーを失ったり (光電効果)、軌道電子と衝突し、入射方向と異なった方向へ散乱される (コンプトン散乱) などの相互作用を行うが、その際に身体から放射される X 線を二次 X 線という。

光電効果とは、物質 (人体) に入射した X 線が人体を構成する原子の軌道電子と衝突し、X 線の持っている全エネルギーを軌道電子に与え、入射した X 線自体は消滅する現象である。X 線からエネルギーを受け取った軌道電子は、その原子の外側に放出され、その空位の軌道を埋めるために外側の軌道電子が落ち込み、その際に特性 X 線を放出する。軌道電子に与えられた X 線エネルギーは、最終的には光電子および付随して発生する特性 X 線の形でその原子の外へ放出される。一般に、放出される特性 X 線のエネルギーは低く、人体組織のように比較的低原子番号の物質の場合には、光電子と同様にその物質中で吸収される。したがって、心臓カテーテル検査における患者の放射線被ばくの大部分は一次 X 線の光電効果によるものである。

人体に入射する X 線のエネルギーが大きくなり、軌道電子に完全に吸収されず光電効果が起こりにくくなったとき、人体に入射した X 線は、その物質を構成する原子の軌道電子または自由電子と衝突してエネルギーの一部を付与し、軌道電子または自由電子をはじき出す

(反跳電子)。その結果、入射 X 線のエネルギーは衝突により減弱され、入射方向とは異なった方向へ散乱する。この相互作用をコンプトン散乱という。心臓カテーテル検査の術者の被ばくは、患者に入射した X 線による光電効果やコンプトン散乱によって発生する二次 X 線によるものである。

以上より、患者と医療従事者の被ばく軽減を考える上で重要なことは、患者被ばくの放射線源は X 線管からの一次線であるが、医療従事者の被ばくの大部分は患者の体から発生する二次線によることに留意すべきである。

B 確率的影響と確定的影響

ほとんどの臓器や組織は相当数の細胞が失われても影響を受けない。しかし、その数が十分多くなると、組織機能が喪失し観察しうる障害が発生する。このような障害を引き起こす確率は低線量ではゼロであるが、あるレベルの線量 (しきい値) を超えると、その確率は急速に 100% にまで上昇し、しきい値以上では障害の重篤度が線量とともに増加する。このような影響を確定的影響という (図 1A)。一方、放射線を照射された細胞が死滅せずに修復される時、生体防御機構が十分に機能しないと、潜伏期を経たのち悪性の状態、つまりがんの発現をもたらすことがある。放射線に起因するがんの確率は、少なくとも確定的影響のしきい値よりも十分に低い線量では、おそらくしきい値がなく、線量の増加とともに上昇する。しかし、がんの重篤度は線量に影響されない。この種類の影響は確率的影響と呼ばれる。もし、生殖細胞にこのような損傷が発生すると、その結果生じる影響が放射線に曝された人の子孫に現れる。この種の確率的影響を遺伝的影響という。(図 1B)

C 放射線を測ること

患者に照射された電離放射線 (以下、放射線) のうち、人体を透過して画像形成に寄与するものはわずかで、大部分は人体組織に吸収される。また、人体に照射された放射線は周囲に散乱し、そのうちの一部が医療従事者を照射する。人体に照射された放射線は、有害な影響を与えうるが、適切な管理でその放射線被ばく量を十分に減らすことができるため、影響発生と管理の指標として線量測定が重要である。

医療放射線の管理には、さまざまな種類の線量とその単位が使用される。線量とは、放射線が人体やものに及ぼす影響の因果関係を議論するとき、原因となる放射線被ばくを定量的に考えるために用いられる量の総称である。以下、医療施設における放射線管理で、測定や評価

図 1A 確定的影響

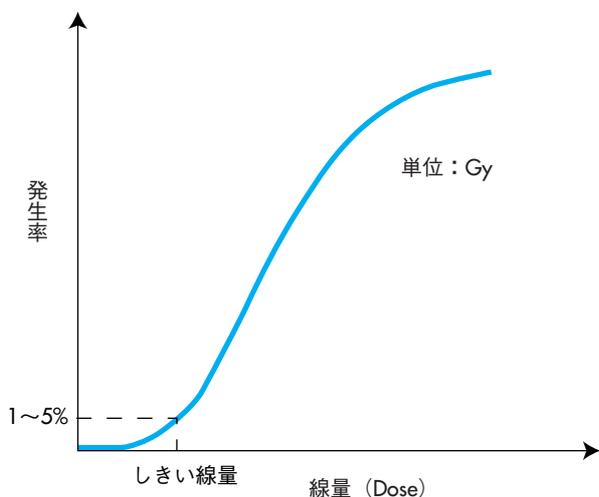
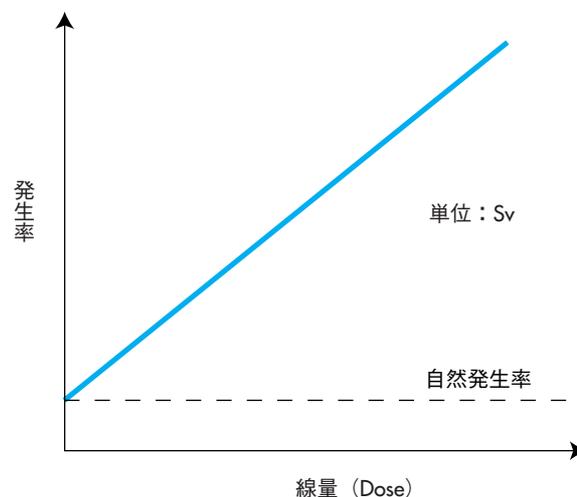


図 1B 確定的影響



の対象となる線量とその単位について説明する。

(1) X線の空気カーマ

X線の空気カーマは、X線を照射された空気が、二次電子（光電子やコンプトン電子など）の運動エネルギーとして、単位質量当たりどれだけのエネルギーを受け取るかに基づいて定義される線量である。二次電子に受け渡されたエネルギーは、物質（空気）の電離や励起に使われるため、X線の空気カーマは、X線の空気に対する化学作用の大きさにほぼ比例する。そして、水や人体軟部組織の元素組成（実効原子番号）は、ある程度空気に類似しているため、X線の空気カーマは、人体軟部組織がX線から受ける化学作用の目安にすることができる。X線の空気カーマの値は、次項で説明するX線の「組織吸収線量」の近似値として用いることができる。カーマのSI単位はJ/kgであるが、特別の単位名と単位記号には「グレイ (Gy)」が用いられる。

(2) 組織吸収線量

放射線の物質に与える影響を単純に考えると、それは放射線に被ばくしたことによる物質の状態変化であると理解できる。物質に状態変化を起こさせるにはエネルギーが必要であるため、物質が放射線からどれだけのエネルギーを「受け取ったか」を指標にすれば、「いかなる種類の放射線に対しても、同じ線量が同じ影響をもたらす (same dose, same effect) 非常に汎用性の高い“線量”になるはずである」という素朴な考え方に基いて導入されたのが吸収線量である。組織吸収線量 (tissue

absorbed dose) は、人体の組織や器官の単位質量あたりに放射線から受け渡されるエネルギーとして定義される。組織吸収線量は、等価線量や実効線量を算出する元となるほか、急性の放射線障害をもたらした線量を表す場合などに用いられる。組織吸収線量のSI単位はJ/kgで、特別の単位名と単位記号にも“グレイ (Gy)”が用いられる。

(3) 等価線量

組織や器官の平均組織吸収線量が同じでも、たとえば、X線と中性子線では染色体異常を起こす頻度が異なるなど、生体への影響は放射線の種類により異なる。元来、等価線量 (equivalent dose) は、組織や器官の平均吸収線量を、その放射線の影響力に応じて修飾したもので、低線量被ばくが組織や器官にがんや遺伝的影響を誘発するリスク（確率的影響のリスク）の指標として定義された。しかし、法令では、皮膚と水晶体および女性の腹部（胎児）に関する確定的影響のリスクの指標として用いられている。等価線量に対する特別の単位名と単位記号は、“シーベルト (Sv)”である。

(4) 実効線量

放射線によるがんや遺伝的影響の誘発に関する感受性は、組織や器官ごとに異なる。そこで、それぞれの組織や器官の放射線感受性に応じて等価線量を加重平均した量を、実効線量 (effective dose) という。実効線量は、個人の低線量被ばくによる発がんおよび遺伝的影響のリスクの指標として用いられる。法令では、診療従事者の

被ばくに関する限度だけでなく、放射線管理区域の境界など、場所に関する限度も、実効線量で規定されている。これは、これらの線量限度が、その場所に立ち入った人が被ばくする可能性のある線量を規制するために導入されたものだからである。実効線量の特別の単位名と単位記号も“シーベルト (Sv)”である。

【参考文献】2, 3

3 放射線皮膚障害の臨床

A 重症度分類と臨床経過

人体が放射線を照射されることにより、人体組織が損傷し影響を受けることを放射線障害という。放射線障害の中には臨床症状が全くなく、検査をしないとわからないものもある。放射線障害は、線量-影響関係の違いから確率的影響と確定的影響に区分される。皮膚・水晶体障害などの確定的影響にはしきい線量が存在し、それ以下の被ばくでは発生しないことが明らかになっている。胸部 X 線撮影などの一般撮影で照射される線量は、しきい線量には遠く及ばず、皮膚障害が発生することのない線量である。しかし、大量の放射線を照射することのある PCI やカテーテル・アブレーションなどでは、皮膚障害が発生する可能性があるため、放射線量の確認が

特に重要である。皮膚・水晶体への影響、しきい線量、発現時期の一覧を表 1 に示す。

このしきい線量は、放射線障害を防護する上で放射線を扱う術者が把握しておかなければならない数値である。PCI やカテーテル・アブレーションを行う際には患者の皮膚吸収線量を重篤な障害のしきい値以下に管理し、重篤な確定的影響の発生を防止することが重要である。ただし、実際の皮膚・水晶体障害症例ではその経過に幅があり、この数値が必ずしも全ての症例に適用できるわけではない。PCI などを行う際には、この値を参考にして、あらかじめ施設の管理目標として皮膚線量の上限値を定めておく必要がある。ただし、緊急の救命医療の場合などのように、軽微な確定的影響よりも治療完遂を優先する場合もあるから、患者にとっての最良な結果を得るため、管理目標値を超えて継続する場合の判断を誰がどのようにするか、という手続きも含めて定めておく必要がある。

皮膚・水晶体への影響、しきい線量、発現時期の一覧を表 1 に示したが、急性照射によって起こる皮膚障害に関しては線量、経過時間、皮膚の臨床症状の関係を示した下記のような重症度分類もある。この分類には内容的に一部、しきい線量と重複する部分もある。

すなわち、放射線の急性照射によって生じるもっとも早い変化は、数時間内に現れる一過性紅斑であり、障害を受けた上皮細胞がヒスタミン様物質を放出するために起こる毛細血管の拡張によるもので、臨床目目に触れることは少ない。それ以降に生じる皮膚の損傷（急性皮膚反応）は、以下に示すように、第 1 度から第 4 度までの 4 段階に分類される。

表 1

	影響	およそのしきい線量 (Gy)	発症までの時間
皮 膚	早期一過性紅斑	2	2~24 時間
	主紅斑反応	6	1.5 週以内
	一過性脱毛	3	3 週以内
	永久脱毛	7	3 週以内
	乾性落屑	14	4 週以内
	湿性落屑	18	4 週以内
	二次性潰瘍	24	> 6 週
	晩期紅斑	15	8~10 週
	虚血性皮膚壊死	18	> 10 週
	皮膚萎縮症 (第 1 期)	10	> 52 週
	硬化 (浸潤性線維化)	10	
	毛細血管拡張	10	> 52 週
	皮膚壊死 (遅発性)	> 12	> 52 週
	皮膚がん	未知	> 15 年
眼	水晶体の混濁 (検出可能)	> 1~2	> 5 年
	水晶体/白内障 (支障をきたす)	> 5	> 5 年

(1) 第 1 度の皮膚反応

照射により、まず上皮の基底細胞の増殖が阻害され、角化層の脱落が生じ、その結果、上皮が薄くなる。3~4 Gy の線量の照射後、約 3 週間から現れる。皮膚は乾燥し、脱毛が生ずる。その他には症状はほとんどない。

(2) 第 2 度の皮膚反応 [乾性皮膚炎] (図 2A)

主症状は本格的な皮膚紅斑であり、細動脈が部分的に狭窄し、血流が盛んになって乾性皮膚炎が生ずる。皮膚は充血、腫張するが糜爛 (びらん) するには至らず、やがて落屑がはじまる。6~19 Gy の照射後約 2 週間を経過してから紅斑が明らかになり、約 3~4 週間持続する。

(3) 第 3 度の皮膚反応 [湿性皮膚炎] (図 2B)

1 回に 20~25 Gy の線量が照射されると上皮に、線量

図 2A



図 2B



図 2C



が多い場合には、皮下にも水疱が現れ癒合し、水疱が破れると皮下組織が直接露出する。照射後約1週後に湿性皮膚炎が始まり、4~5週間持続する。創傷にはフィブリンが析出する。患部は感染し易い。約1~2週間から上皮の再生が始まる。

(4) 第4度の皮膚反応 [潰瘍] (図 2C)

30 Gy 以上の線量の照射後、1週間以内に生ずる。深紅色の紅斑が現れ、ついで水疱が生じ、これが糜爛して潰瘍となる。すなわち、上皮は壊死して脱落し、線量が高いと縁が鋭く掘れ込んだ典型的な放射線潰瘍となる。上皮の基底膜は消失して、薄い上皮が皮下組織に直接密着した状態となり、外からの刺激に弱くなる。

以上を参考として、PCIによって患者の受けた線量を把握し、これら線量と影響の発現時期を確認した上で、事情が許すのであれば、これらの期間を空けて観察する必要がある。

B 症例呈示

患者：60歳 女

初診：1997年4月5日

合併症：慢性C型肝炎

現病歴：心筋梗塞のため1997年2月から3月の間に某大学病院循環器内科にてCAGないしPCIを計3回施行。同年4月になって右乳房外下方と中背部右側にそう痒感とヒリヒリ感を伴う紅斑が出現。循環器内科からの依頼にて4月5日同院皮膚科を受診。

初診時現症：右乳房外下方に9.0×8.5 cmの卵円形の紅斑を認め、鱗屑・痂皮が付着(図 3A)。中背部のやや右側には11.5×8.0 cmの長方形の紅斑を認め、少数の丘疹を伴った。皮疹部にヒリヒリ感、そう痒感を伴っていた。

【☞ この時点での右側胸部の状態は、しきい値の表における“乾性落屑”に相当し、急性放射線皮膚反応の分

類では第2度[乾性皮膚炎]に相当する。また中背部の状態はしきい値の表における“主紅斑反応”に相当する。】

治療と経過：皮膚科初診時、CAG・PCIが行われた点に着目せず、診断として固定薬疹、消毒薬などによる接触皮膚炎などを考えた(Q10参照)。抗生剤含有ステロイド軟膏の外用にて治療を施行。右乳房外下方の皮疹は初診4日後に中央部にびらんを形成し(図 3B)、中背部の皮疹は紅色調が増して浮腫状となった(図 2A)。約2週間後、右乳房外下方は暗紅褐色調、表面平滑となり、中背部は落屑を伴い、暗紅色調となって、ともに軽快した。固定薬疹を疑ったため、内科で処方されていた薬剤の貼布試験を行ったが、結果はすべて陰性であった。

【☞ この時点での右側胸部の状態はしきい値の表における“湿性落屑”に相当し、急性放射線皮膚反応の分類では第3度[湿性皮膚炎]に相当する。また中背部の状態はしきい値の表における“乾性落屑”に相当し、急性放射線皮膚反応の分類では第2度[乾性皮膚炎]に相当する。】

翌年の1998年1月13日、右乳房外下方の皮疹が皮膚萎縮、色素沈着・脱失を伴う暗紅色の硬結を形成し、再度同皮膚科を受診した(図 3C)。背部の皮疹は皮膚萎縮と角化傾向を伴う淡紅褐色の紅斑となっていた。右乳房外下方の皮疹については乳腺悪性腫瘍を疑い、同院乳腺外科にて精査を行ったが、診断は腫瘍病変ではなく線維性の瘢痕という結果であった。

【☞ この時点での右側胸部、中背部の状態はしきい値の表における“晩期紅斑”、“皮膚萎縮症(第1期)”に相当し、右側胸部では“硬化(浸潤性線維化)”を伴っている。】

右乳房外下方の皮疹は再受診後1ヶ月余りの間に中央部が深い皮膚潰瘍となり、周囲に毛細血管拡張を伴った(図 3D)。背部の皮疹は皮膚萎縮と角化傾向を伴う淡紅褐色の紅斑のままであった。

【 この時点での右側胸部の状態はしきい値の表における“虚血性皮膚壊死”，“毛細血管拡張”に相当する。】

1998年3月，患者の地理的都合によって前述の大学病院から他院に転医し，転医先にて右乳房外下方の皮疹の全摘術と有茎皮弁による再建術を受け，右乳房外下方の病変は完治した。同年4月，前述の大学病院循環器内

科にて計4回CAGないしPCIが行われ，計58.5 GyのX線照射を受けていたことが判明し，本症例をIVRによる放射線皮膚障害と確定診断した。中背部の皮疹はその後も潰瘍を生じなかった。

【参考文献】4-9

図 3A



図 3B



図 3C



図 3D



II 各論 (Q/A)

1 放射線被ばく管理の基礎知識

A 確率的影響と確定的影響

Q1: 放射線による影響には確率的影響と確定的影響がありますが、何が違うのですか。また、放射線防護においてどのように区別して考えればよいのでしょうか。

A: 人体への放射線の影響は、各臓器・組織の受けた放射線量と照射部位および線量率、さらに放射線の種類とエネルギーなどによって異なり、その線量と影響の現れ方の関係の違いによって確率的影響と確定的影響に区分している。

確定的影響（組織反応）とは、影響の発生する最小線量（しきい線量：Q3 参照）を超えた場合に、出現する確率が増加するものを指し、放射線影響にしきい線量が存在することと、線量の大きさと影響の重篤度が関係するのが特徴である（図 1A）。一方、線量とともに影響の発生確率が上昇するものを確率的影響という（図 1B）。PCI 時に発生することのある患者の放射線皮膚障害は確定的影響（組織反応）の一例である。確率的影響の放射線誘発がんに関しては、実効線量の大きさにおおむね比例して、その過剰相対リスクが増加するものと考えられている。これらの線量応答関数の違いは、それぞれの障害の発症機序によると想定されている。

放射線診療従事者に対する放射線管理では線量限度が定められている。線量限度は、確定的影響を防止し確率的影響の発症リスクを容認できる程度に制御することを目的として、安全側に設定した値である。なお、確率的影響は低線量の放射線（100 mGy 以下）では、人体への影響は確認されていないが、従事者や公衆の被ばく管理では、線量と放射線影響の関係において、微量な放射線でもリスク係数が変わらないとする直線仮説を採用している。しかし、低線量域での放射線リスクは極めて小さく、ある一定以上ではないことは明白であるものの、どの程度の範囲にあるかはよく知られていない。このため、診療で患者が受ける線量における放射線リスク評価に直線仮説を用いる場合には不確かさも考慮すべきである。なお、通常の放射線診断で受ける線量（50 mSv 以下）では、今までに行われた疫学調査によるがん発症の増加

は確認されていない。また現在のところ、放射線による遺伝的影響も確認されていない。

かつては確定的影響を非確率的影響と呼称していた。誤解を避けるために、非確率的影響は確定的影響と用語が変更されたが、関数は異なるものの確定的影響も確率的な事象であることには違いがなく混乱の基になっていた。このため、次の新しい ICRP 勧告では、その機序により着目し確定的影響を tissue reactions と呼称することが提案されている。いずれにしても、制御したい放射線影響の種類に応じ、適切な線量を制御対象指標に用いる必要がある。

PCI の施行に際しては、放射線管理担当スタッフは皮膚障害などの確定的影響が発生することのないように、患者に照射された線量をモニタリングすることが重要である。また、患者に照射する線量の分布等を考慮し、水晶体など放射線感受性が比較的高い臓器の線量を制御して、全体的なリスクの低減を図ることが求められる。

【参考文献】 4, 10-12

B 皮膚吸収線量と実効線量

Q2: PCI を受ける患者さんの皮膚吸収線量（放射線皮膚障害のリスク指標）と実効線量（発がんのリスク指標）の関係を教えてください。

A: 患者が放射線を受けた場合の影響は、受けた放射線の量と受けた部位および放射線の種類とエネルギーや線量の時間分布等によって異なる。PCI に使用する放射線の種類は X 線であり、個々の光子の運動エネルギーは最大 100 keV 程度である。放射線リスクは組織に与えられた放射線のエネルギーの大小で決まると考えられ、線量の単位として吸収線量が用いられている。

皮膚吸収線量は、皮膚など人体の組織や器官が放射線のエネルギーを単位質量あたりにどれだけ受け取ったかを示すものであり、単位は J（ジュール）/kg となる。ただし、放射線影響は、放射線のエネルギーが熱として作用した結果ではなく、ラジカル生成などに由来しているため、特別な単位として Gy（グレイ）が用いられている。患者が PCI によって被ばくした放射線量を管理するとき、皮膚は人体の組織で最も多く放射線を受ける部位なので、急性の放射線障害など組織反応のリスクを検討する場合、皮膚吸収線量が用いられる。PCI 施行後は、最大皮膚吸収線量などを評価し、放射線皮膚障害の「しきい線量」を考慮して皮膚障害の臨床経過観察計画を検討する必要がある。

従事者に対しては、確率的影響を制御するように作業環境を管理する必要があるため、法令で臓器・組織に対

する防護量を定めている。従事者のリスクを扱うために、臓器・組織の平均吸収線量である等価線量を用いる。等価線量の単位は Sv（シーベルト）である。ただし、従事者であっても皮膚や水晶体の防護量は、確定的影響を制御するためである。このため、皮膚の臓器として平均吸収線量でなく、もっとも多く曝露した領域の皮膚吸収線量を制御対象としているが、これも便宜的に等価線量と称している。また、個別の臓器ではなく、個体として発がん等の確率的影響に対する従事者の防護量を評価する場合や、患者の確率的影響のリスク評価を行う場合は、放射線が照射された各臓器の感受性を考慮し、それらを重み付け平均した実効線量を用いる。つまり、実効線量は、全身の組織・臓器の発がんリスク等を考慮し荷重評価した等価線量の総和となる。単位は等価線量と同じ Sv（シーベルト）が用いられる。このように、等価線量と実効線量は同じ Sv 単位を用いているが、実際の PCI 患者の皮膚の局所領域に限定した等価線量と実効線量では、2 桁以上も異なるため、数値の取扱いには注意が必要である。PCI 患者の受けた線量管理では、確定的影響の制御が主眼であり、放射線皮膚障害のリスク指標となる皮膚吸収線量 Gy（グレイ）を用いる。

【参考文献】 12

C しきい線量

Q3：多くの放射線障害には「しきい線量」があります。「しきい線量」とはどういうことで、防護上どのように考えればよいのでしょうか。

A：放射線を人体に照射すると、その線量に応じてさまざまな影響が発現する。放射線の影響は、確定的影響と確率的影響に区分される。確定的影響には、影響が発生する最小の線量が存在し、その線量以下では発症せず、それを超えると発症の確率が増加すると考えられている。その線量をしきい線量という。表 1 に皮膚・水晶体影響—しきい線量—発現時期の一覧を示すが、PCI では患者の受ける線量を可能な限り確定的影響のしきい値以下に制御し、影響の発現を防止する必要がある。但し、しきい線量を超える線量となっても、全ての患者に障害が出現するわけではない。国際放射線防護委員会（ICRP）では放射線を照射された人たちの 1~5 % に障害が発現する線量をしきい線量と規定している。

【参考文献】 4, 10, 12—14

Q4：何グレイくらい被ばくすると、患者さんは皮膚紅斑、皮膚潰瘍などの合併症をきたす可能性がありますか。それは冠動脈造影だと何分くらいの照射にあたりますか。

A：人体は照射された放射線によって、さまざまな影響を受ける。皮膚の吸収線量が 2 Gy 以上になると比較的早期（数時間）に一過性の皮膚紅斑、24 Gy 以上の照射で皮膚潰瘍を生じる可能性がある。たとえば、毎分 25 mGy の線量率で透視した場合、80 分で 2 Gy に達するが、冠動脈造影検査では撮影も行われるため、実際の検査ではそれよりも短い透視時間で 2 Gy に達する。各々の施設における透視と撮影の線量比を把握しておく必要がある。たとえば、透視と撮影の線量比が 50% であれば、前述の線量率で透視を行った場合 40 分で 2 Gy に達する。しかし、施設で使用している装置や術者により患者の被ばく線量は大きな差があるため（図 19 参照）、一概に放射線皮膚障害が出現しうる照射時間を特定できない。それぞれの施設の基準線量（Q60 参照）と Q62 で述べるような線量計を用いて実際の患者の被ばく線量から、施設ごとの基準を作ることが奨められる。

【参考文献】 4, 9

D 許容できる被ばく線量の目安

Q5：放射線被ばく線量は何グレイになったら注意すべきでしょうか。また何グレイで検査を中止すべきでしょうか。

A：皮膚障害など放射線による確定的影響にはしきい線量が存在し、それ以下の線量では発生しないことが明らかになっている。PCI では可能な限り患者の皮膚吸収線量を障害のしきい値以下に管理し、発生を防止することが求められる。

皮膚・水晶体影響—しきい線量—発現時期の一覧を表 1 に示したが、PCI の施行に際し、この値を参考にして、あらかじめ施設の管理目標として皮膚線量の上限值を定めておく必要がある。また、検査に当たり患者に説明することも重要である。ただし、緊急の救命医療では軽微な確定的影響よりも治療完遂を優先する必要がある。このため、患者にとっての最良な結果を得るため、管理目標値を超えて継続する場合の判断を誰がどのようにするか、という手続きも含めて定めておく必要がある。（Q12 参照）また、皮膚障害以外の放射線影響のリスクも小さくするために、無駄な放射線照射は行わないことも求められる。患者への説明・同意（インフォームド・コンセント）に関しては Q11 を参照されたい。

【参考文献】 4, 9

2 放射線皮膚障害の基礎知識

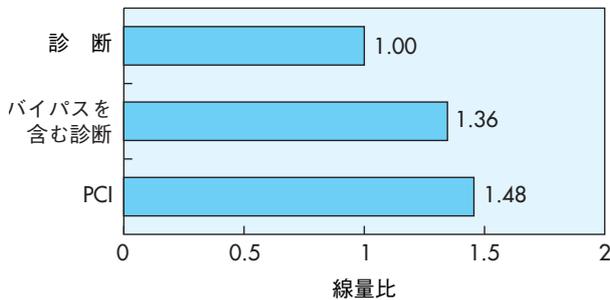
A PCIにおける放射線皮膚障害

Q6: PCIは患者さんの受ける線量が多いそうですが、本当でしょうか。

A: 図4に国立循環器病センターにおけるPCIと冠動脈診断造影検査62症例における一検査当たりの総線量の平均値を示すが、診断造影検査と比較してPCIの線量が多いことがわかる。PCIではカテーテルを目的冠動脈に挿入し、細いガイドワイヤやバルーンおよびステントを冠動脈内に挿入して拡張や留置を行うため透視時間が長くなる。また、バルーンやステントの位置および拡張を確認するため繰り返し撮影を行う。その結果、患者の受ける線量が多くなる。

【参考文献】9

図4 診断冠動脈造影検査とPCIの患者の被ばく線量
通常の診断冠動脈造影検査の線量を1として比較した



Q7: PCIでは患者さんに放射線障害が生じることがあると聞きます。被ばく線量と、障害の関係を教えてください。

A: 人体が放射線を照射されることにより、組織に影響を受けることを放射線障害という。放射線障害の中には臨床症状が全くなく、検査をしないとわからないものもある。放射線障害は、線量-影響関係の違いから確率的影響と確定的影響に区分される(Q1参照)。胸部X線検査など一般撮影で照射される線量は、皮膚障害が発生することのない量である。しかし、PCIでは皮膚障害が発生する可能性のある大量の放射線を照射することがあるため、被ばく線量の確認が重要である。PCIでは、表1に示した皮膚・水晶体影響-しきい線量-発現時期を参考にして、患者の皮膚吸収線量を障害のしきい値以下に管理し、重篤な確定的影響の発生を防止するとともに、他の臓器の組織反応や確率的影響のリスクを小さくするために、可能な限り線量を小さくすることが求められる。

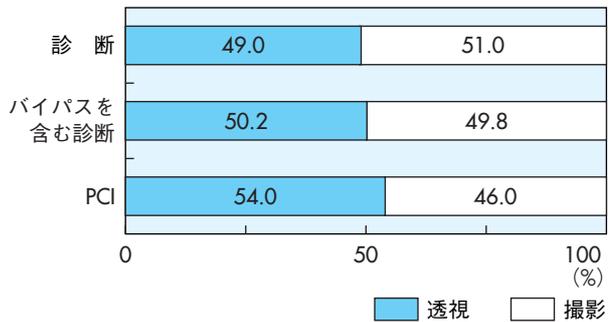
【参考文献】4, 15-17

Q8: PCIでは透視による被ばくが多いと聞きましたが、本当でしょうか。

A: 診断造影検査では、カテーテルを目的冠動脈に挿入すると、あとはX線入射方向を変えて位置決めと撮影を繰り返すだけである。一方、PCIではカテーテルを目的冠動脈に挿入するだけでなく、細いガイドワイヤやバルーンおよびステントを冠動脈内にデリバリーし、拡張や留置を行うので透視時間が長くなる。また、バルーンやステントの位置および拡張の程度を確認するため繰り返し撮影を行う。図5は、国立循環器病センターにおける冠動脈造影検査62症例における一検査当たりの透視と撮影による線量比の平均値を示す。PCIは診断造影検査と比較して透視時間が長くなるが、それに比べて撮影回数も多くなるので、透視と撮影に要する線量の比は、診断を目的とする冠動脈造影もPCIもあまり変わらない。

【参考文献】4

図5 1検査当たりの透視と撮影の線量比



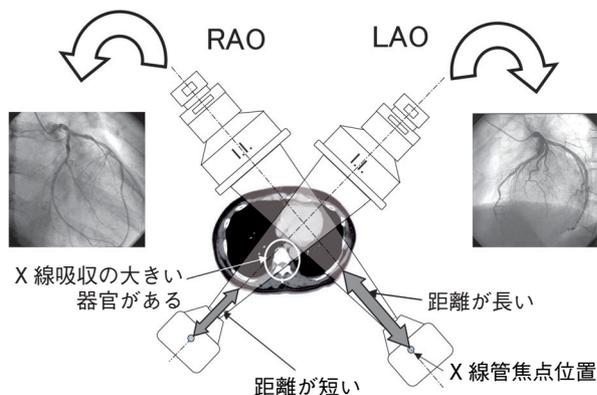
B 放射線皮膚障害の好発部位

Q9: PCIで右背部に皮膚障害が多いのはなぜですか。

A: 図6に示すように、心臓は患者身体の左側に偏位しているため、RAOよりLAOの方がX線管焦点と患者の皮膚面が近くなり、同じ時間X線を照射してもLAOの方がRAOよりも患者への入射線量は多くなる。また、X線入射方向がRAOの場合には、患者の左背部から肺を通して心臓を観察することになるが、LAOでは患者の右背部から脊柱や縦隔を通して心臓を観察することになる。肺は空気が多く含まれており容易にX線を透過するが、脊柱や縦隔は密度が高いため透過しにくく、多くの線量を必要とする。このため、LAOで長時間の透視・撮影を行った患者の右背部に皮膚障害が多く発生する。

【参考文献】9

図6 LAOとRAOにおけるX線入射方向と被ばく線量の違い



C 放射線皮膚障害と鑑別を要する皮膚症状

Q10: 被ばくによる皮膚紅斑と鑑別を要する皮膚症状はありますか。

A: IVR による放射線皮膚障害は、皮膚症状の発生部位・形・大きさおよび、時期ごとの特徴的な症状を念頭に置いて皮膚症状の観察を行えば、その診断は比較的容易である。しかし、時に他の皮膚疾患と鑑別を要する場合もある。IVR による放射線皮膚障害と鑑別を要する皮膚疾患としては、下記のような疾患があげられる。すなわち、鮮紅色調の紅斑と、時により滲出液を伴うびらん局面を主体とする早期の皮膚障害では、固定薬疹、帯状疱疹、接触皮膚炎、熱傷といった疾患が、また暗紅色調の紅斑や硬結・皮膚潰瘍を主体とする遅発性の皮膚障害では、斑状強皮症、褥瘡、皮膚悪性腫瘍といった疾患において放射線皮膚障害と鑑別を要することがある。以下に各皮膚疾患の特徴を簡単に述べる。

固定薬疹 (図 7A): 特定の部位にのみ皮疹が出現する型の薬疹で、口唇、外陰部、四肢に多く、単発性であるが多発することもある。皮疹は類円形から長円形の紅斑で、大きさは手拳大程度までであり、中心部に水疱やびらんを伴う場合もある。そう痒感、疼痛を伴う。治癒した後に褐色の色素沈着を残すため、治癒後の所見も放射線皮膚障害と類似している。

帯状疱疹: 水痘帯状疱疹ウイルス初感染である水痘の発症後、年月を経てウイルスが再活性化することによって生ずる疾患。片側の神経分布に一致して紅斑・小水疱を生じ、疼痛・そう痒感・知覚異常などを伴う。水疱部分が潰瘍化することもある。典型例では神経の走行に沿って帯状の分布を呈するが、背部などに限局して手拳大程度の紅斑・水疱を生ずる場合もあり、このような場合に

放射線皮膚障害の急性期の所見と類似する。

接触皮膚炎 (図 7B): 接触源が皮膚に付着し、付着した部位に一致して発症する湿疹反応である。一次刺激性とアレルギー性に分類される。接触した物体の形に一致して境界明瞭な紅斑を呈し、重症例では小水疱や小水疱が融合した大水疱を形成する。そう痒感やヒリヒリ感を伴う。図 7B は湿布薬による腰部のアレルギー性接触皮膚炎である。

熱傷: 温熱によって生ずる皮膚・粘膜の障害。第 I 度 (表皮熱傷)、第 II 度 (真皮浅層熱傷・真皮深層熱傷)、第 III 度 (皮下熱傷) に分類される。第 I 度熱傷は紅斑を形成し、第 II 度熱傷は水疱・びらん・潰瘍を形成して、I 度 II 度ともに疼痛を伴う。第 III 度熱傷では受傷部が壊死し、疼痛も感じない。第 I ~ II 度熱傷において場合により、放射線皮膚障害と鑑別を要する。

斑状強皮症 (図 7C): 膠原病の一種で、皮膚が限局性に硬化を起こすもの。まれに全身性強皮症に移行する。皮疹の大きさは拇指頭大から手掌大で、類円形ないし長円形を描き、表面に光沢を帯びる。病理組織学的には真皮内の膠原線維の肥厚と増生、血管壁の硬化、毛包や汗腺の消失を認め、病理組織学的にも放射線皮膚障害の慢性期の所見ときわめて類似している。

褥瘡: 長期臥床などにより、骨の隆起部に長期間物理的圧迫が加わって血流障害が生じ、皮膚障害が起きるもの。初期には可逆的な紅斑のみであるが、進行すると水疱・びらん・潰瘍を生じ、潰瘍はポケット形成や皮下交通を伴うこともある。重症例では、筋層や骨にまで障害が及ぶ。骨突出部に放射線が照射された場合に、放射線皮膚障害と鑑別を要する。

皮膚悪性腫瘍: 上皮性悪性腫瘍と非上皮性悪性腫瘍がある。上皮性悪性腫瘍の代表的なものは、表皮から発生する有棘細胞癌であり、結節病変にしばしば潰瘍を形成する。他に毛包や汗腺など皮膚付属器から発生する上皮性悪性腫瘍もある。また非上皮性腫瘍としては、真皮内に発生する隆起性線維肉腫などがあり、この腫瘍は主に体幹に紅褐色調の硬結を形成する。さらに、転移性皮膚癌も皮内～皮下に硬結を形成しうる。

【参考文献】 7, 18, 19

図 7A 固定薬疹



図 7B 接触皮膚炎



図 7C 斑状強皮症



3 インフォームド・コンセントと過剰な被ばく・放射線皮膚障害発生時の対応

A 放射線障害に関する説明必要事項

Q11: CAG や PCI を行う前のインフォームド・コンセントで、放射線障害についてはどのようなことを説明すべきでしょうか。いたずらに患者さんの不安を強めることになるのが心配です。

A: PCI 手技は、通常の外科手術と比較して低侵襲ではあるが、放射線を用いるため、治療時間が長くなると放射線皮膚障害が発生する可能性がある。したがって、PCI の施行にあたっては、術式とそれに伴う合併症の説明のほか、放射線皮膚障害に関する説明が必須である。説明者によって内容が異なると、かえって患者の不安を増す結果になるため、説明マニュアルなどを作成し、施設における説明内容を統一しておく必要がある。放射線の影響を説明するには専門的な知識が必要であるが、説明には単に専門用語と数値を羅列するのではなく、患者の不安が何処にあるのかを把握し、安心感が得られるような説明を心掛ける。

具体的な説明を行うと患者に安心感を与えることができるため、以下の内容を説明できるように心がける。

- ・放射線皮膚障害にはしきい値がある
- ・治療経過によっては、放射線皮膚障害のしきい値を超える線量に達する場合もあるが、その場合は検査継続の有無に関する了解を取るようにする
- ・装置を管理し、常に最適な線量で検査を実施している
- ・照射条件をモニターするなどして、皮膚入射線量の

把握に努めている

・放射線皮膚障害に対する対応方法が策定されている
なお、このような説明は緊急検査時においても不可欠である。

【参考文献】 9, 17

B PCI 手技中の説明・同意とその後の対応

Q12: PCI 施行中に透視時間が長くなり、患者さんの被ばく線量が皮膚障害を起こす可能性のある線量に近づいた時、手技を続行するか、中止するかはどのように行えばよいでしょうか。

A: 早期一過性紅斑の発症する可能性のあるしきい線量は 2 Gy である (表 1)。また、施設により単位時間当たりの被ばく線量には大きな差があり、また撮影条件 (患者の体格、撮影角度、フレームレートなど) によっても左右される。したがって、各施設で 2 Gy に相当する透視・撮影時間の目安を定め、透視・撮影時間の累計がこの数値に達する可能性が高いことが判明した時点で、検査・手技の続行・中止を決定する。検査・治療の続行により患者の利益が放射線障害のリスクを上回ると術者が判断する場合は続行することができるが、事前に放射線皮膚障害のリスクを十分説明し同意を得た場合でも、その時点で再度意志を確認することが望ましい。本人の意志確認が困難な場合は、立ち会っている家族の同意を得ることが望ましい。一方、急性心筋梗塞やショックなどで患者の生命に関わる状況下では、放射線皮膚障害を起ささないことよりも、救命を優先すべきである。

しきい線量に達した可能性が高いと判断された後も検査・手技を継続する場合は、さらに一層被ばく線量の軽減に留意する。(1) 透視のパルスレート、撮影のフレー

ムレートを下げる、(2) 透視・撮影角度を変えて、患者の皮膚照射野を異なる位置に移動する（Q33, 図 23 参照）、などの工夫も考えられる。

C 過剰な線量の被ばく後の説明と対応

Q13: カテーテル・インターベンション施行後に患者さんの被ばく線量が、皮膚障害発生のしきい線量を超えた可能性があることが分かった場合、どのように対処すればよいのでしょうか。

A: 放射線安全管理担当者は、検査に従事している担当医に、予測される被ばく線量と皮膚障害の程度を伝え、その後の対応を依頼する。

具体的な対応として

- (1) 患者および家族に対し、インフォームド・コンセントを再度確認する（Q14 参照）。
- (2) 患者皮膚吸収線量報告書を作成して、関係者に報告し経過観察の資料とする（Q15, 図 8 参照）。
- (3) 初期障害を把握する：
 - 一過性の初期紅斑は検査後すぐに現れるため、照射部位の観察を検査担当医もしくは病棟担当医、看護師に指示する。
- (4) 予測障害の程度によっては、皮膚科医に連絡し協力を要請する：

照射部位と被ばく線量、予測される皮膚障害の程度を伝える。皮膚吸収線量報告書と併せて、検査状況報告書（検査記録）や放射線皮膚障害に関する参考文献も添えることが望ましい。

これらの内容を含めて施設におけるマニュアルを作成し、準備しておくことが望まれる。いずれにせよ、チーム医療を心がけ、関係者の意思の疎通を図ることが重要である。

【参考文献】 9, 17

Q14: 放射線皮膚障害が起こる可能性のある線量が照射された場合、患者さんにはどのように説明すればよいのでしょうか。

A: 事前のインフォームド・コンセントの有無にかかわらず、被ばく線量が放射線皮膚障害が起きる可能性のある線量に達した可能性を説明し、診断・治療が必要不可欠なものであったことを伝える。その上で、施設における放射線皮膚障害に対する治療方針を説明する。事前にインフォームド・コンセントが行われた場合も、確認のため再度説明する。

放射線皮膚障害が発生する可能性のある部位に対する対応について、患者にはその部位を教え、以下のように

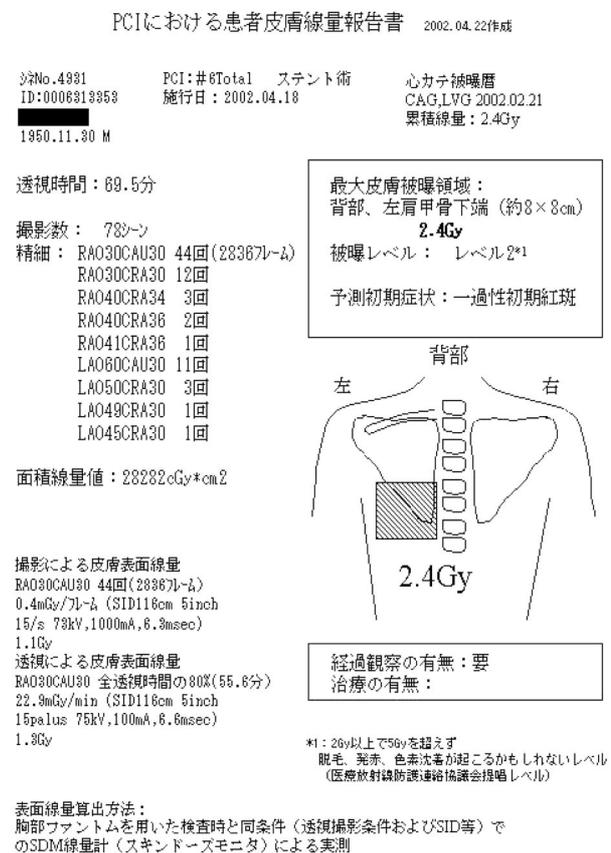
指示する。

- (1) 経過観察のため定期的な受診が必要である。
- (2) 局所を搔かず、入浴時に刺激の強い入浴剤や石鹸の使用を避け、医師から処方された以外の薬物を塗布しない。
- (3) 皮膚の症状に変化があった場合は、その都度受診する。

Q15: 皮膚障害が発生する可能性のある線量が照射された場合、記録に残す必要がありますか。必要であれば、記載方法と書式を教えてください。

A: カテーテル・インターベンションの中でも、特に PCI は状況に応じて短期間に治療を繰り返す場合がある。短期間における同一部位への照射は、しきい値より低い線量で皮膚障害をきたすことがあるので、照射部位と線量を把握し記録に留めておき、過剰な照射防止に努める必要がある。ちなみに、ICRP Publ.85 では、3 Gy（繰り返し施行する症例では 1 Gy）を記録の目安としている。図 8 に、千葉大学医学部附属病院における記録様式例を示す。

図 8 PCI における患者皮膚線量報告書の一例



D 放射線皮膚障害が発生した場合の対応

Q16：軽微な急性皮膚炎で速やかに寛解したような場合に、その後の外来診療で何らかの投薬や皮膚科通院が必要でしょうか。

A：PCI 施行後早期に軽微な皮膚障害が出現して、それが自然に消失した場合、早期一過性紅斑（初期紅斑：しきい線量 2 Gy）または、主紅斑（しきい線量 6 Gy）と考えられる。主紅斑の場合には、治癒後に色素沈着（または色素脱失）を残すことが多い。色素沈着を残さずに治癒した場合には、後に遅発性の皮膚障害を発症する可能性はきわめて少ないので、皮膚科の治療の必要は無く、定期的な経過観察も特に必要ない。本人または家族が皮膚を観察して、何らかの変化を認めた場合に皮膚科を受診するということがよい。一方、皮疹が治癒したものの、その部位に何らかの色調異常が残った場合には、当初は軽微な変化でも、後になって遅発性の皮膚障害を発症する可能性が否定できないため、皮膚科医師による定期的な経過観察が必要である。なお、受診期間は 3 ヶ月に 1 回、1 年間程度が望ましい。ただし、色調異常が残った場合でも経過観察のみで十分であり、治療は特に必要はない。いずれにせよ、照射時に照射部位と線量の記録を残しておくことが重要である。

【参考文献】 9

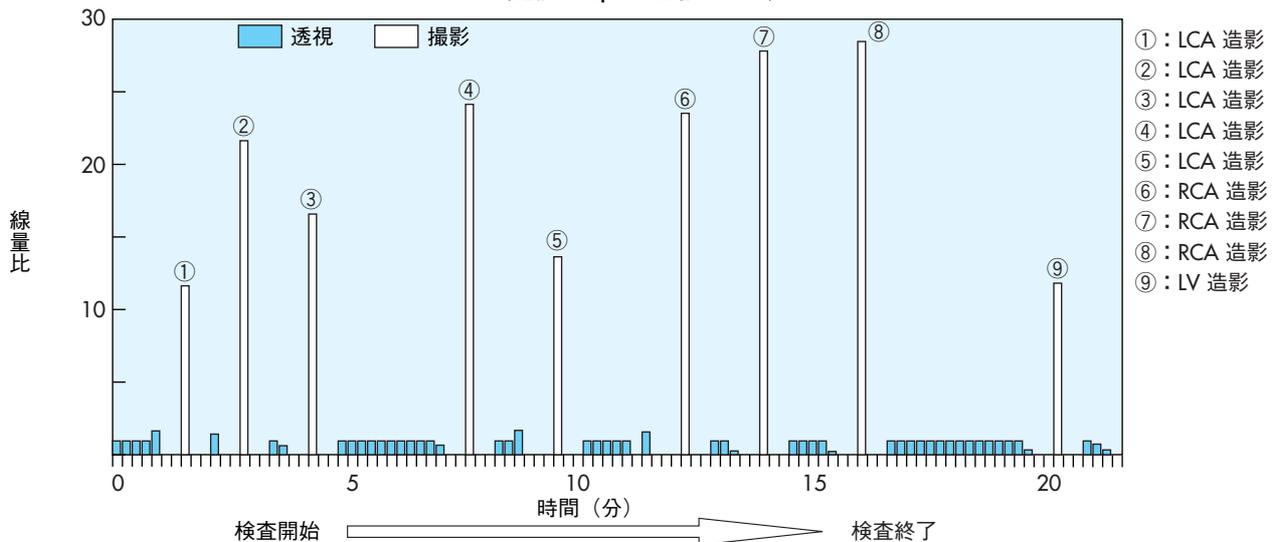
4 被ばく線量に影響する因子**A** 透視と撮影時の被ばく線量の違い

Q17：透視と撮影で患者さんの受ける線量率はどのくらい違うのでしょうか。

A：冠動脈の診断造影検査や PCI における透視や撮影の線量率は、管電圧・管電流・パルス幅・付加フィルタによって決まる。図 9 は、一回の検査における透視と撮影の使用状況とそのときの線量率を、1 分間の透視における面積線量を基準として示したものである。透視と撮影を比較した場合、管電圧・パルス幅などはあまり差がないが、撮影時の管電流は透視時と比較して大きい。そのため、撮影時の線量率は透視時の約 20 倍大きい。透視は検査の開始から終了までの間、ほとんどの場面で使用されるのに対し、撮影は造影時やステント留置時の記録に使用されるのみのため、それぞれの占める割合はあまり変わらない（図 5 参照）。この値は、撮影 30 f/s、透視 15 p/s による比較であり、パルスレートが変わるとその比は異なる。

【参考文献】 9

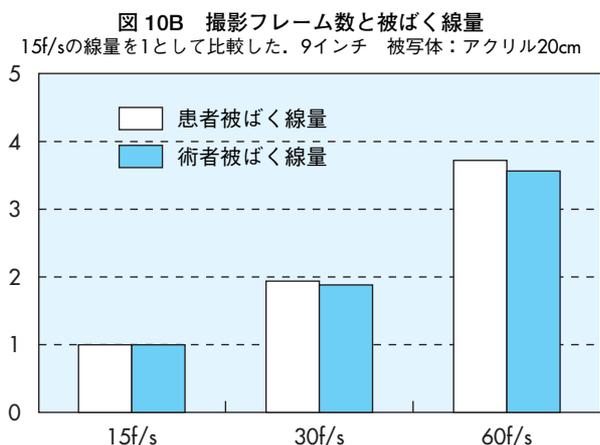
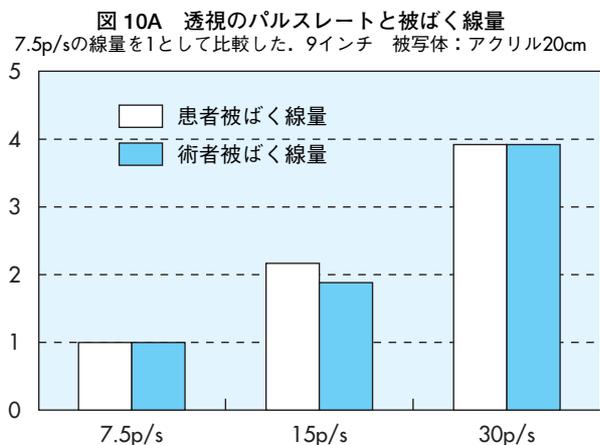
図 9 検査における透視と撮影の使用状況と線量率の比較
(透視：15p/s 撮影：30f/s)



B | 照射パルスレートの影響

Q18: 透視のパルスレートや撮影の画像収集レートを下げると、どの程度被ばく線量を減らすことができるのでしょうか。

A: PCI における被ばく低減法として、パルス透視が有効である。図 10A に示すように 30 p/s, 15 p/s, 7.5 p/s とパルスレートが低くなるにつれて被ばく線量が低下する。ただし、高いパルスレートでは連続透視と変わらない線量が照射されるので、患者の被ばく低減を目的としてパルス透視を用いるなら、低レートパルス透視を使用しなければ目的が達せられない。なお、図の装置ではパルスレートと線量が比例しているが、体厚の厚い患者を検査する場合、低パルスレートを選択しても、装置が自動的にパルス幅を広くしたり、管電流を大きくするなどして、高レートパルス透視と変わらない線量を照射する仕組みの装置もあり、低レートの選択が必ずしも被ばく線量低減につながらないことがある。装置を使用するにあたって、実際に測定してみるか、メーカーに確認して



装置の性能を把握しておく必要がある。また、低レートのパルス透視は、慣れないとカテーテル等の観察を妨げる場合があるので、術者と十分検討した上で利用することが重要である。

一方、撮影時の画像収集レートも患者の被ばく線量に影響を与える。図 10B に 15 f/s, 30 f/s, 60 f/s の画像収集レートにおける患者の受ける線量を示す。画像収集レートが増すにつれて患者の受ける線量は多くなるので、単に見やすいという理由で画像収集レートを多くするのはではなく、心拍数や病状に応じた画像収集レートを選択し、できるだけ患者の受ける線量を低減することを考えなければならない。

【参考文献】 20

C | 患者の体型による影響

Q19: 患者さんの体格によって被ばく線量はどのくらい違うのでしょうか。

A: 一般的に、やせた患者より肥満の患者の方が単位時間あたり受ける線量は多い。図 11 は体厚 15 cm と 25 cm の患者の入射面における線量比を示したものであるが、被写体が 10 cm 厚くなると入射線量は約 4 倍になる。したがって肥満の患者を検査する場合、検査中の積算線量には特に注意を払う必要がある。また、肥満の患者の検査では術者の被ばくも多くなる。

D | イメージ・インテンシファイア (II) と患者の距離

Q20: なぜ II を患者さんから離すと被ばく線量が増えるのですか。また、その場合術者の被ばく線量はどのように変わりますか。

A: X 線管と患者の距離が変わらない場合に、II を患者から離すと、X 線管と II の距離が大きくなるので、より多くの X 線量を照射するように自動調整機構が作動する。その結果、患者の被ばく線量が増す。図 12 はカテーテルテーブルの高さはそのまま、II を患者から離れた時の患者入射皮膚面における線量の変化を示したものである。II を 10 cm 離しただけで入射線量は約 15 % 増加している。日常の検査で II と患者の間が 10 cm 程度離れていることをよく見かけるが、些細なことでも積み重なると大きな線量の違いになるので注意しなければならない。ただし、術者は PCI 手技に集中しているので、これらの照射条件は診療放射線技師など周囲のスタッフが注意を払うようにする必要がある。

一方、術者の受ける線量は II を離してもあまり変わらない。II を離すと X 線量が増すので散乱 X 線も増加するはずであるが、最近の X 線透視撮影装置の可動絞

図 11 患者の体型と被ばく線量

患者の受ける線量・術者の受ける線量は、痩せた体型の線量を1として比較した。7.5インチ 15p/sのバルス透視

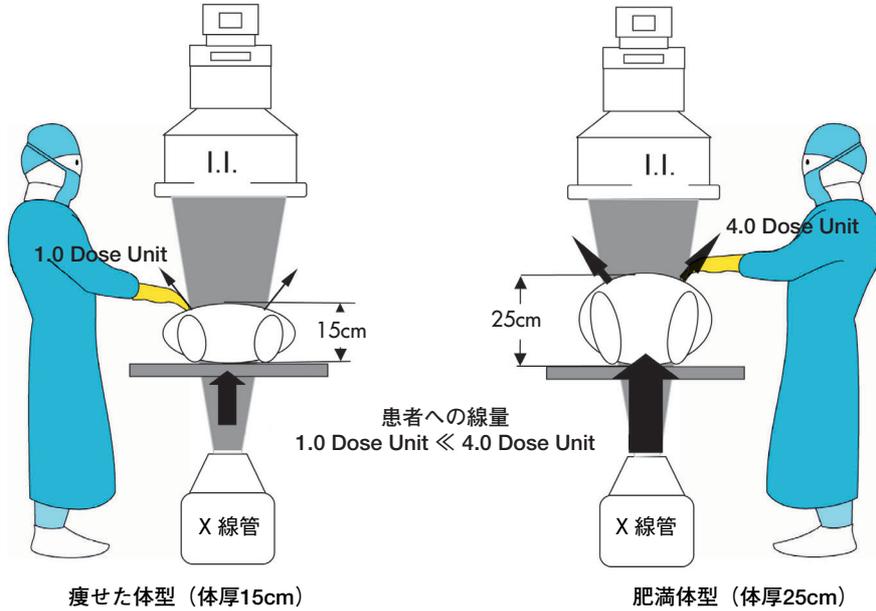
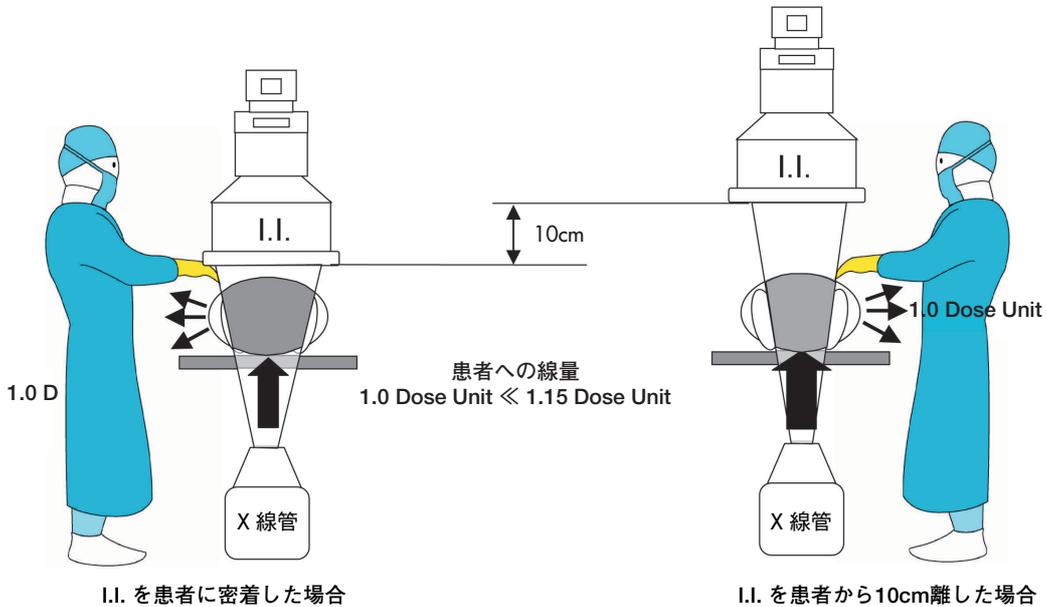


図 12 イメージインテンシファイア (I.I.) -被写体間距離と被ばく線量

患者の受ける線量・術者の受ける線量は、I.I. を密着した場合の線量を1として比較した。



りには、II を遠ざけると有効視野外 X 線を防ぐよう自動的に照射野が絞られる機構 (PBL 機構) が付いており、実際には図のように照射野が絞られるので、10 cm 程度離れた状態では、術者の受ける散乱 X 線の量は変わらないという結果になる。

(注) PBL (positive beam limitation) 機構: X 線管焦点-受像面間距離の変化、および受像面積の変化に追従して X 線照射野の大きさを調整する機構

【参考文献】 9

E | X線管と患者の距離

Q21：被ばく低減法に「患者さんをできるだけ X 線管から離す」とありますが、なぜですか。検査台が低いと、術者の被ばく線量はどのようなのですか。

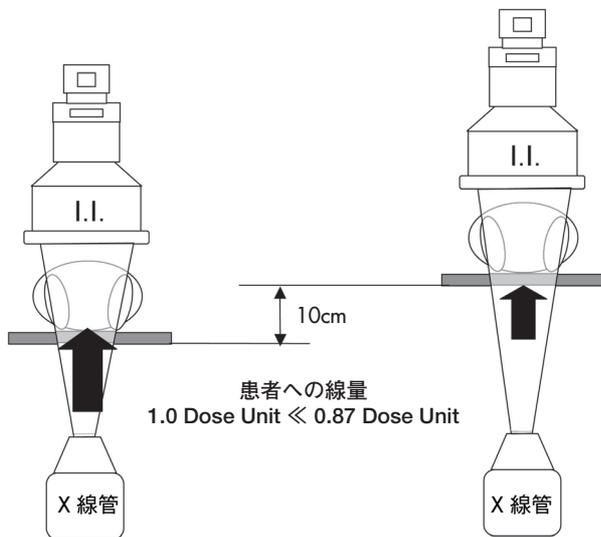
A：患者を X 線管から離すと X 線管焦点—イメージ・インテンシファイア間距離が増すので X 線出力は多くなる。しかし、画像に寄与せず患者の被ばくに大きな影響を与える低エネルギー X 線の患者に到達する線量が減少するため、皮膚線量は低減する。その様子を図 13 に示す。患者を 10 cm 程度 X 線管に近付けると線量は約 15 % 増加するため、検査に支障のない範囲でカテーテルテーブルを高くして、X 線管から患者を遠ざけるようにする必要がある。

身長の高い術者が検査を行う場合、作業をし易くするためカテーテルテーブルを低くしがちであるが、テーブルを低くすると患者と X 線管を近づけることになり、患者の被ばく線量が増加するので注意を要する。この場合、術者の受ける線量は変わらない。

【参考文献】 9

図 13 患者-X線管焦点距離と被ばく線量

X線管と患者との距離を10cm離すと、患者さんの受ける線量は13%減少する



F | 透視野の大きさ

Q22：PCI ではガイドワイヤやステントの鮮明な画像を得るため、拡大視野を多用しますが、患者さんの受ける線量はどのくらい変化しますか。

A：II サイズを小さくして画面を拡大すると、図 14 に示すように患者の受ける線量は増加する。反対に II サ

イズを大きくして視野を広くすると、線量は減少する。従来は、II サイズを小さくして拡大すると、線量が不足して鮮明な画像が得られないため、あまり利用されなかった。しかし、近年、X 線管装置の大容量化およびデジタル画像処理など新しい技術の導入と PCI の普及が相乗効果となり、多くの施設で使用されている。PCI を安全に施行するためには必須の機能ではあるが、患者の被ばく線量が増加するので、皮膚障害防止のため、使用は必要最小限にとどめる必要がある。

なお、II サイズを小さくすると、照射野が自動的に絞られるため術者線量は減少する。一方、II サイズを大きくすると照射野が大きくなり、散乱線量が増加するため術者線量は増加する傾向にある。

【参考文献】 9

G | 絞りの影響

Q23：照射野を絞ると本当に患者さんの被ばく線量は減りますか。

A：図 15 は照射野を全開にした場合と 70 % の面積に絞った場合の比較である。照射野を絞っても患者さんが受ける単位面積当たりの線量は変わらない。しかし、照射野が大きいと皮膚潰瘍など障害を受ける可能性のある範囲が広がるので、普段から不要な部位への照射は避け、放射線障害を回避する努力が必要である。さらに、照射野を絞れば、角度を変えて透視、撮影した時に重複する照射野の皮膚面積を小さくできる。Q33 で皮膚障害回避の方法として X 線入射角度を変える方法を述べているが、照射野を絞っておけば、その角度が小さくて済む。また、照射野を絞ると術者の線量も減少するのはいうまでもない。

【参考文献】 9

H | 透視・撮影角度の影響

Q24：LAO cranial view および LAO caudal view では、患者さんの皮膚吸収線量が多いと聞きましたが、どうしてなのでしょう。また、どうすれば線量を減らせるのでしょうか。

A：X 線透視撮影装置は、II に入射する線量が常に一定に保たれるように制御されている。一方、X 線入射方向が変わると被写体厚が変化する。このため、その厚みに応じた線量が照射される。X 線入射方向によって患者への入射線量が異なるのはそのためである。図 16 はファントムを用いた X 線入射方向ごとの線量比較であるが、X 線入射方向によって約 2 倍の線量差がある。LAO 方向は患者の右背部から脊柱や縦隔を通して心臓を観察す

図 14 拡大透視・撮影と被ばく線量

患者の受ける線量・術者の受ける線量は I.I. サイズ7インチの線量を1として比較した

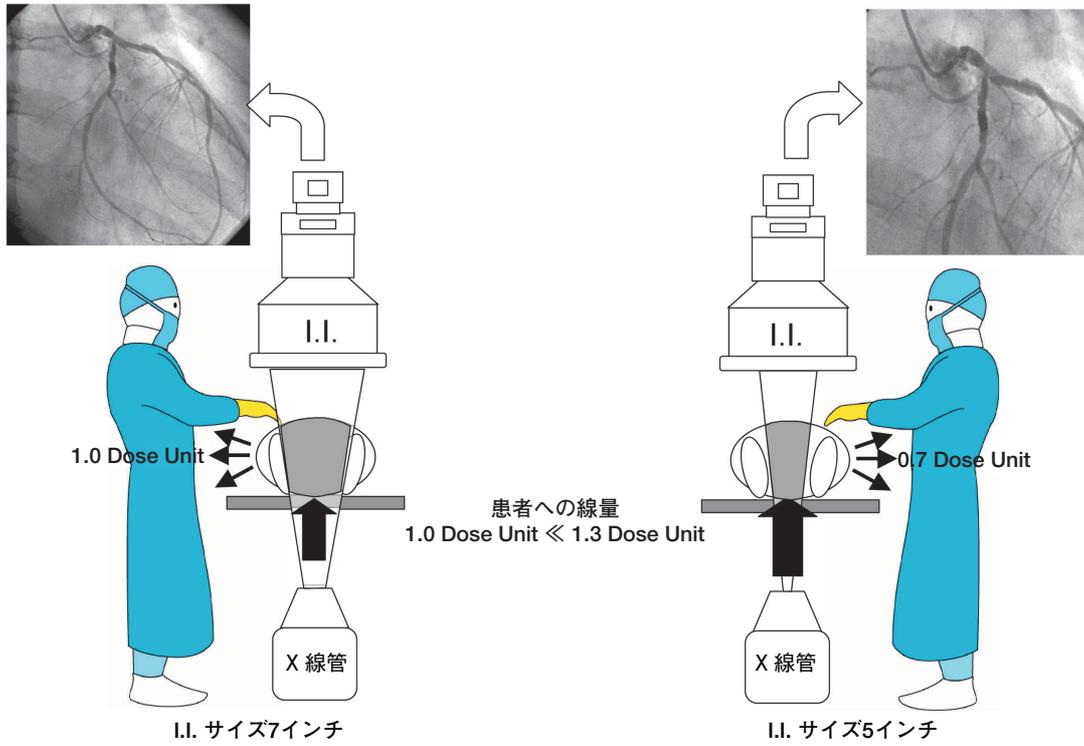
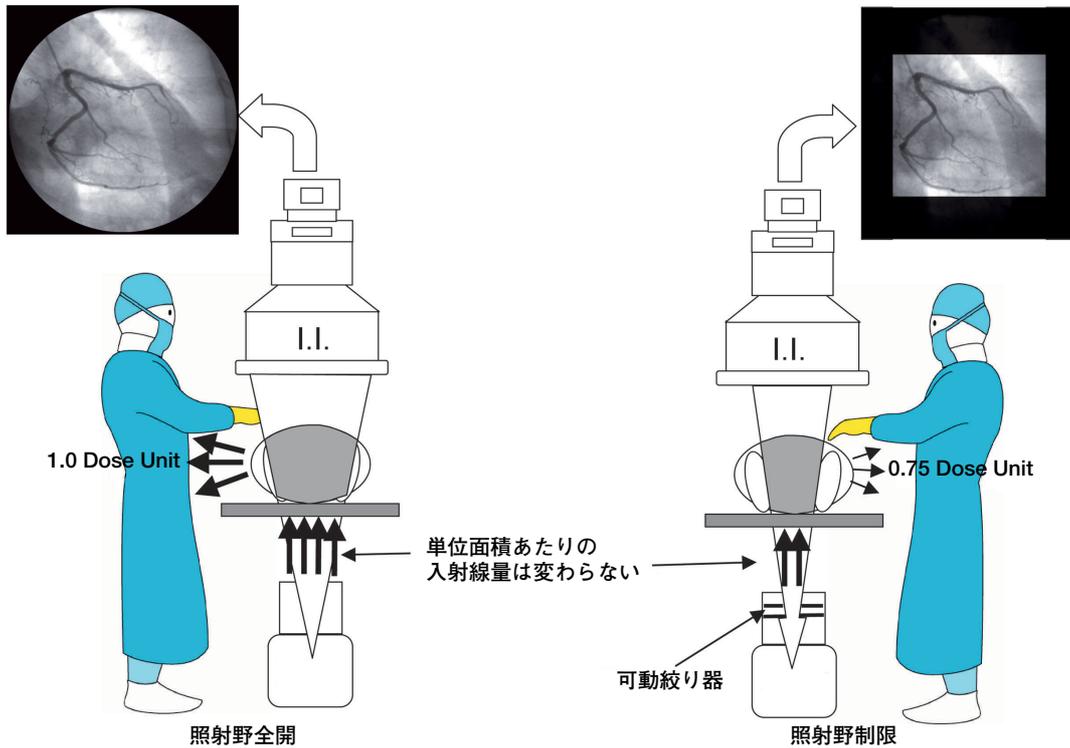
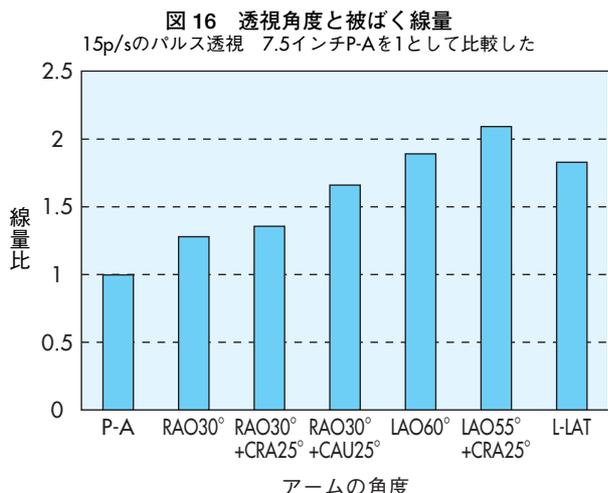


図 15 絞りと被ばく線量

術者の受ける線量は、照射野全開の線量を1として比較した。7インチ





ることになるため多くの線量が照射される（図6参照）。Cranial や caudal にすると、さらに体厚が増すのでより多くの線量が照射される。LAO cranial や LAO caudal 方向で線量が多くなるのはそのためである。このような X 線入射方向で検査を行うときはパルスレートを下げたり、拡大透視・撮影を避けるなどの線量を下げの努力が必要である。

PCI は長時間にわたって同じ X 線入射方向で透視撮影を繰り返すため、使用する装置の X 線入射方向と線

量の関係を把握し、患者の受ける線量が過大にならないように注意する。

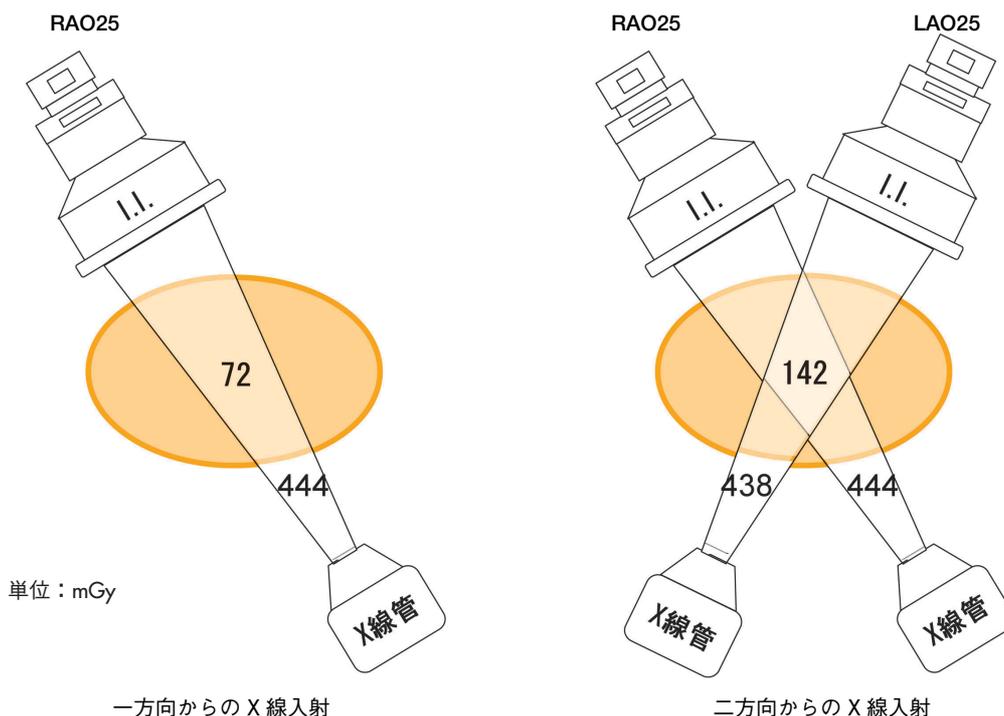
【参考文献】 21

I | 体内中心部の被ばく

Q25：皮膚への X 線入射部位を固定しないように照射方向を変えた場合に、患者さん体内中心部の線量が増加することはありますか？

A：図 17 に、異なる X 線入射方向による体中心部と皮膚面の線量を示す。この例では RAO 25°で照射したときの患者の皮膚線量および心臓位置での線量と、患者の入射皮膚面が重複することのない 2 つの X 線入射方向 RAO 25°と LAO 25°で X 線を照射し、それぞれの患者の入射皮膚面と、体内で X 線が交わる患者体内中心部における線量を測定している。透視条件 92 kV, 6.3 mA で 10 分間透視したときの線量は図に示すとおりである。確かに、複数方向からの照射による皮膚入射線量と体内中心部線量の比は、一方向からの照射によるそれよりも大きくなり、体内中心部の線量は増えるが、日常の PCI における複数方向からの照射によって体内中心部の線量が皮膚入射面の線量を超えることはない。したがって、患者の確定的影響を防止するには、入射皮膚面の線量把握が最も重要である。

図 17 体内中心部の被ばく
異なるX線入射方向による体中心部と皮膚面の線量比較



J 付加フィルタの影響

Q26：付加フィルタを使用すると、どのくらい患者さんの皮膚吸収線量が減少しますか。

A：PCIで使用するX線は様々なエネルギーを持つ光子の集合であり、そのようなX線を連続X線という。ところが、エネルギーの低い光子は、ほとんど画像形成に関与しないで、大部分が患者の皮膚で吸収され、線量を増加させる原因となる。付加フィルタを装着すると低エネルギー光子の大部分をカットするので、患者の皮膚吸収線量を効果的に低減することができる(図18)。通常、付加フィルタには銅やアルミニウムが使用されており、皮膚吸収線量の低減効果はフィルタの厚みに依存する。しかし、厚すぎるフィルタの使用はX線管負荷を増すとともに画質の低下を招くので、最適な材質と厚みものを選択する必要がある。

現在市販されている血管撮影装置の大部分には、皮膚吸収線量低減用付加フィルタが装着されているが、古い装置の中には未装着なものもある。最近購入した装置でも、付加フィルタの有無を確認し、装着されていない場合は適切な厚みのものを装着することが推奨される。

なお、付加フィルタが装着されていない装置に、フィルタを追加する際、可動絞りの前面にフィルタを設置すると、フィルタから散乱X線が発生し、術者の線量増加の原因となることがあるので、追加する場合には、メーカーに依頼してX線管と絞りの間に挿入する。

【参考文献】9, 22

K 透視・撮影装置の影響

Q27：撮影装置によって透視の線量は違うのですか

A：X線画像は、被写体に照射するX線量に依存する信号成分およびX線ノイズ成分によって画質が決定される。近年、装置を構成する画像形成に關する検出器の性能は、メーカー間であまり性能に差がなくなっているが、X線制御方式、イメージ・インテンシファイア(II)やTVカメラなど検出器の感度や有効視野の違い、グリッドなどの周辺機器、X線管の固有フィルタ、被ばく低減のための付加フィルタ、などによって患者に照射する線量は異なる。さらに臨床に使用する場合、パルス透視のレート、撮影コマ数などの設定が施設によって異なるため、患者の受ける線量は装置によって異なるのが一般的である。図19は、同じ被写体を使用して測定した関東地区36施設49装置における透視の線量率である。一番多い装置と少ない装置とでは約10倍の差がある。

【参考文献】9, 21, 23

L フラットパネル・ディテクタ(FPD)式透視撮影装置

Q28：FPD式撮影装置では、一般に被ばく線量を軽減できるといわれていますが、かえって増加することもあると聞きました。どのような場合に増加するのでしょうか。また、使用上の注意点はなんでしょうか。

A：現在、FPDには直接変換方式と間接変換方式の2つの撮像方式がある(図20)。直接変換方式は、X線受像媒体としてアモルファスセレン(a-Se)を使用している。

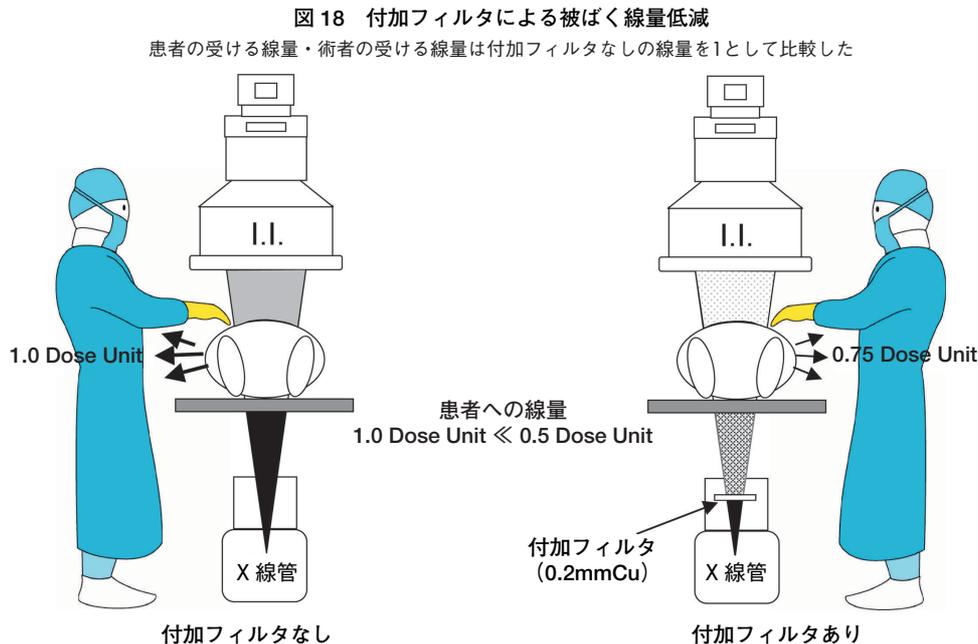


図 19 異なる施設の49装置の透視線量率

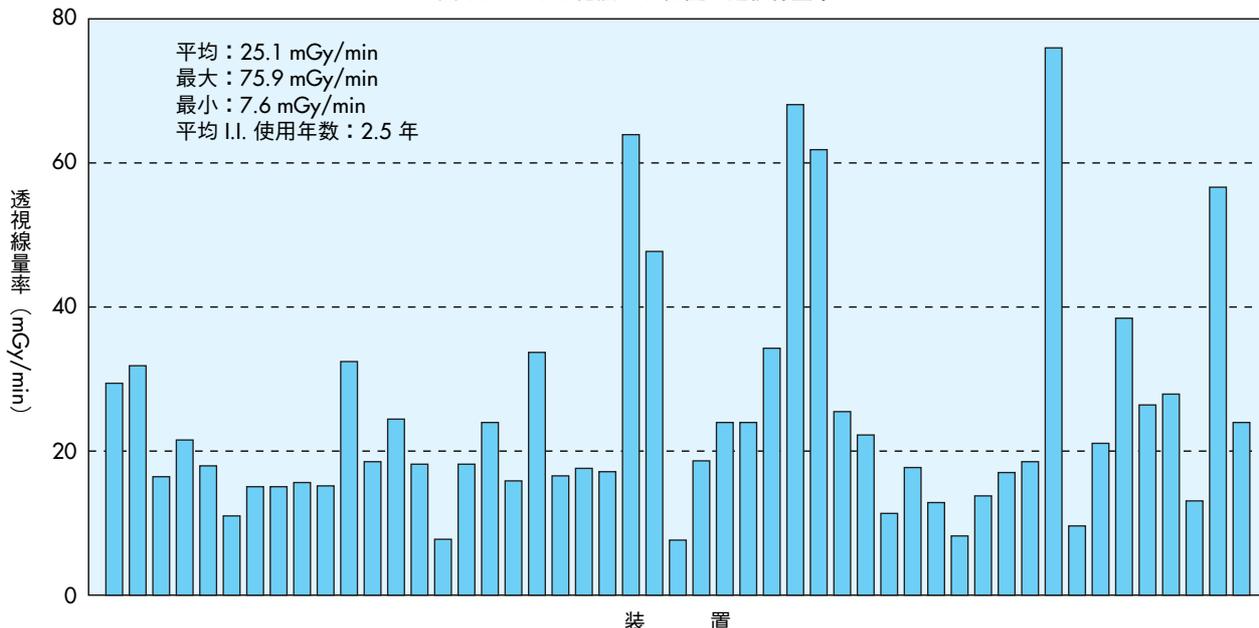
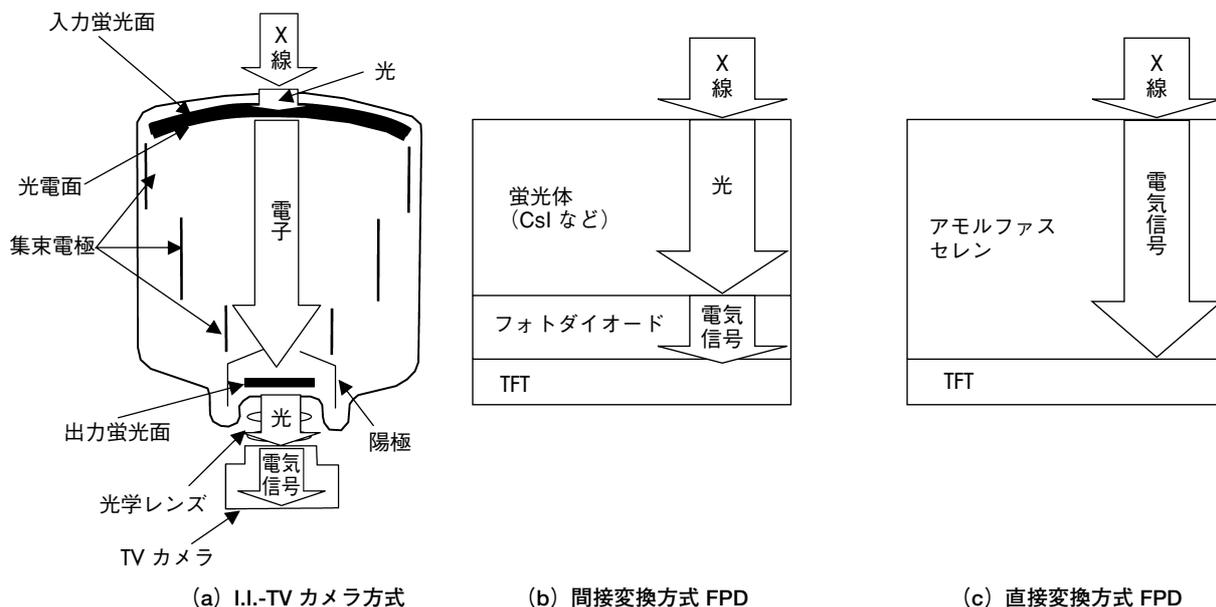


図 20 フラットパネルディテクタ (FPD) 式撮影装置
各種映像装置の比較

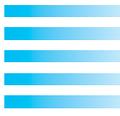


a-Se に入射した X 線によって発生した電荷エネルギーを直接、薄膜トランジスタ (thin-film transistor : TFT) で読み取る方式である。直接変換方式はエネルギー変換時のロスが少なく、空間分解能に優れる。間接変換方式は、X 線受像媒体としてヨウ化セシウム (CsI) などの蛍光体を使用して入射した X 線を一旦可視光に変換し、フォトダイオードなどを用いて電気信号に変換する方式である。光の散乱による画像劣化があるが、取り扱いや

すいため循環器撮影用装置に多く用いられている。FPD の利点として以下のことが挙げられる。

- ・デバイスの経年劣化が少なく、長期にわたり安定した画質が得られる。
- ・歪みがない。
- ・コントラストがよい

FPD はイメージ・インテンシファイア (II) と比べて X 線の検出効率がよいため、理論上線量低減が可能であ



る。実際に、X線量子ノイズ（量子としてのX線量の揺らぎに由来する変動）の影響を受けない高線量率X線が照射される撮影では、ある程度の線量低減ができる。一方、X線量子ノイズの影響を受ける低線量率の透視では、IIと比較して線量低減があまり図れないため、結果として一検査当たりの合計線量はIIと同等、というのが現状のようである。ただし、経年劣化がほとんどないため、装置の品質管理が容易であることや、画像の歪みがないことなど、将来的にはIIに取って代わられると思われるため、利用の拡大と性能の向上が相俟って線量低減が期待できるデバイスである。

また、FPDはダイナミックレンジが広いいため、補償フィルタを使用しなくてもハレーションが生じることはない。また、IIのように視野を拡大しても線量が増加することがあまりないため使いやすいデバイスであるが、ダイナミックレンジが大きいため過大な線量でも画像再構成に支障がないので気がつきにくい場合が多い。した

がって、これまで行われてきた線量低減法がますます重要となる。

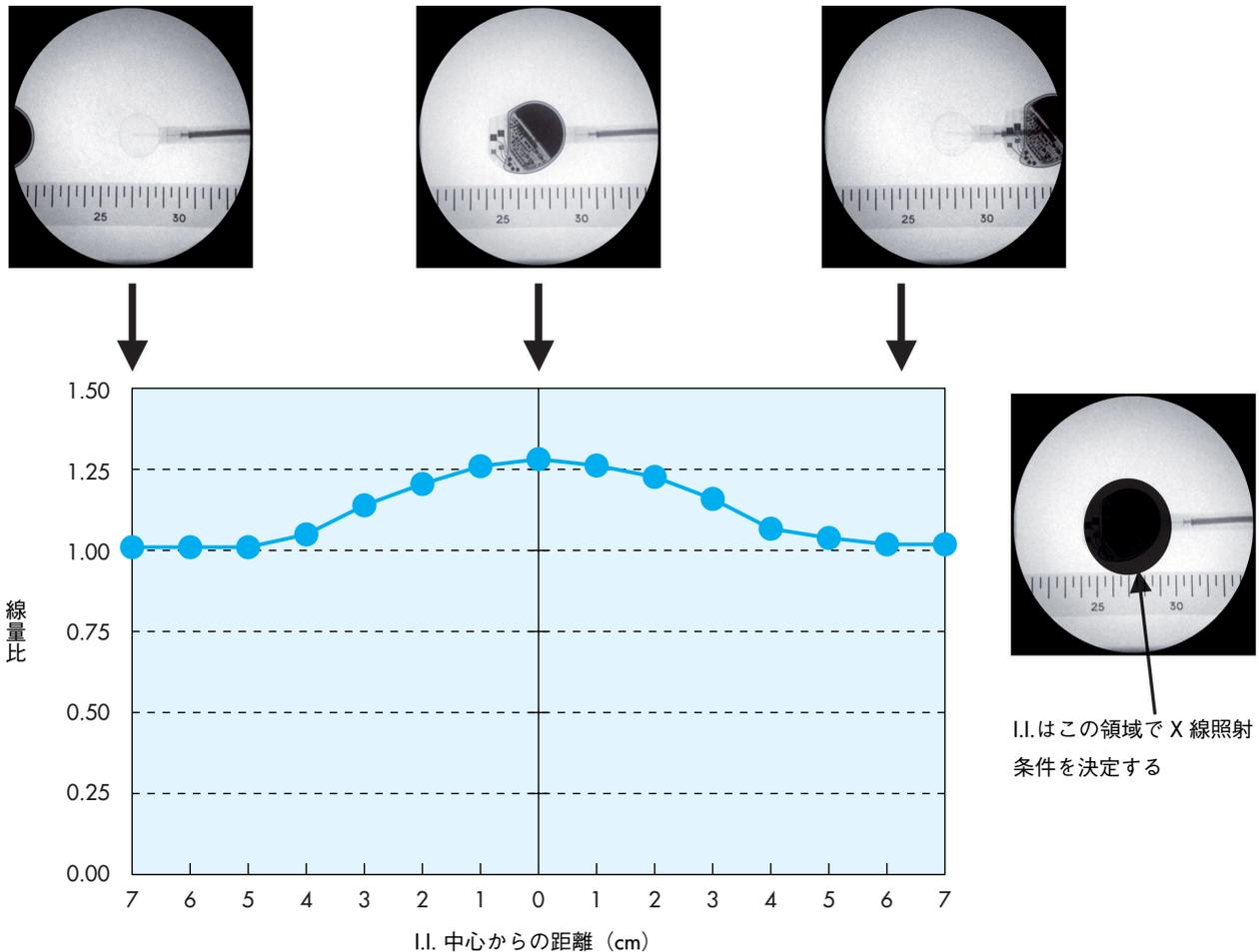
【参考文献】24-27

M | ペースメーカーおよびリード線の影響

Q29：照射野にペースメーカー（PM）本体やリード線が入ると、被ばく線量が増加するのはどうしてですか。

A：透視や撮影時のX線照射条件はイメージ・インテンシファイア（II）の中心にある受光部で受けた線量によって決定される。図21はPMの照射野内における位置と、その時の線量比を示したものであるが、PMがX線照射条件決定に影響しない照射野の周辺にある時は、X線照射条件が変化しないため、患者の受ける線量は変化しない。しかし、PMがII中心部にあるときは、PMの材質に応じたX線が照射される。一般にPMは金属製なので、同じ厚みの人体よりも多くのX線が必要となるため、照射野中心部にPMがある場合、患者の受ける

図21 ペースメーカーが照射野に入った時の線量への影響
ペースメーカーがない場合の線量を1として比較した



線量は増加する。それとともに、PM のない周辺組織には過剰線量となり、ハレーションなど画質低下の原因にもなるため、できる限り PM を II 中心部に配置しないよう注意する必要がある。

N | 透視・撮影野に上腕が入る場合の影響

Q30：照射野に腕（上腕）が入っている場合、患者さんの受ける線量は変化しますか。また、皮膚障害防護上の注意点はなんですか。

A：診断治療を目的として患者に X 線を照射する場合、鮮明な画像を得るため、照射野から障害となるものを取り除くのが X 線撮影技術の基本である。冠動脈撮影時、照射野内に腕が入る場合に挙上するのはそのためである。しかし、近年の冠動脈造影では、肘動脈や橈骨動脈からアプローチすることが多く、腕を挙上できないケースが増加している。

また、カテーテル・アブレーションでは、検査が長時間に及ぶため患者の負担が大きいこと、比較的 X 線視認性のよい電極カテーテルを使用するため、照射野内に腕などの障害陰影があっても検査進行に大きな妨げにならないこと、さらに、X 線管装置が大容量になり、両腕

が照射野内に入っても透視出来るようになったことなどの理由により、両腕を挙上しないまま検査を施行することもある。

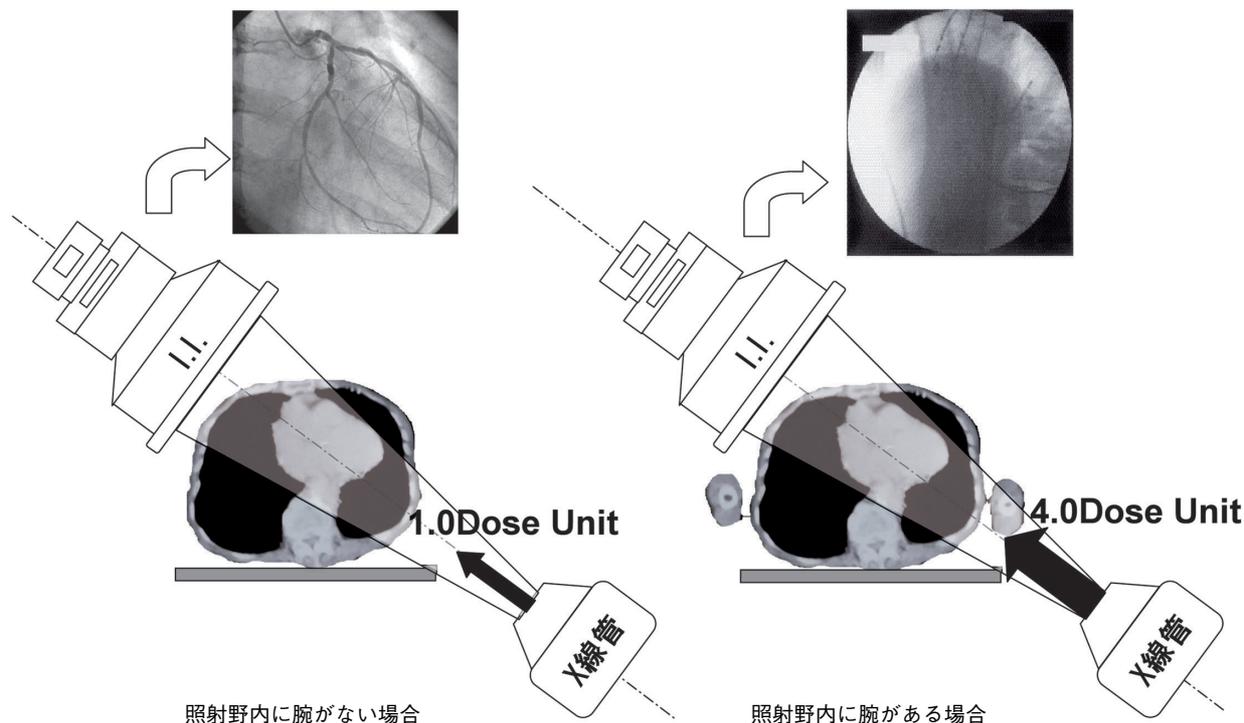
図 22 は、照射野内に腕が入った時の照射野と腕の位置関係、および、その時の線量比を示したものである。X 線照射条件決定に関与しない照射野周辺に腕が入った場合でも、腕の太さ分だけ X 線源-皮膚間距離が短くなり、皮膚入射面での線量が多くなる。さらに、腕が II 中心部に入った場合は、腕の分だけ X 線照射条件が高くなるとともに、X 線源-皮膚間距離が短くなるので、照射野内にある腕部分の受ける線量は非常に高くなる。

上腕が入った照射では、II に到達するまでに患者身体を横切る距離が大きくなるが、身体内部で放射線は指数関数的に減弱する。このため、上腕が入った側方からの照射では、入射部の上腕の皮膚に大きなエネルギーを与えることになるため注意が必要である。したがって、X 線入射角度を変えたり、上腕を体幹部から離して挙上するなど、可能な限り照射野から上腕をはずす努力をすべきである。

【参考文献】5, 28

図 22 腕の位置と被ばく線量

腕がない場合の患者の受ける線量を 1 として比較した



5 患者の被ばく線量低減のための工夫

A 被ばく線量低減の原則

Q31: PCI 時の患者さんの被ばく線量を減らす方法を教えてください。

A: PCI など体外にある線源からの防護の原則は、①時間（照射時間を短くする：time）、②遮蔽（放射線を遮蔽する：shield）、③距離（線源から離れる：distance）である。表 2 に具体的な方法を示す。

各項目について検討し、それぞれの施設で可能なことから実施し、患者の受ける線量の低減に努めることが推奨される。また、合計透視時間や撮影フレーム数と同じでも、患者の体格、X 線の照射部位、X 線入射角度、透視モードによって患者の最大皮膚吸収線量が大きく異なるということにも留意する必要がある。

【参考文献】 1, 4, 29

表 2

1. 不必要な透視、撮影をしない。
2. 撮影フレームレートをできるだけ低く設定するとともに、撮影時間も短くして撮影による線量を少なくする。
3. 線量と画質の関係を把握し、装置と検査手技に合った照射条件で検査を実施する。たとえば、一般的に高電圧による透視、撮影はコンプトン散乱の増加による若干のコントラスト低下があるものの適度な透過率により皮膚吸収線量等の低減につながる。
4. 術者が許容できる範囲での低レートパルス透視を使用する。
5. 付加フィルタを使用する。
6. X線管を患者からできるだけ離す。
7. I.I.をできるだけ患者に近づける（幾何学的な拡大を多用しない）。
8. 拡大透視、撮影の使用は必要最小限にする。
9. 体格の小さな患者や、I.I.を患者に近づけない手技ではグリッドを取り外す。
10. 常に必要な範囲に照射野を絞る。

B 患者の皮膚以外の被ばく

Q32: カテーテル検査時に術者は防護用具で甲状腺、腹部、生殖器などを防護していますが、患者さんのそれは防護しなくてよいのでしょうか。

A: カテーテル検査における患者の生殖腺や甲状腺への線量は検査部位から発生する散乱 X 線によるものであるから、術者が使用する防護用具と同様のものを患者の体表面に設置しても、患者の体内で散乱した X 線を防護することはできない。したがって、それらの設置は意

味がないだけでなく、検査の妨げになる場合がある。また、骨盤や頭頸部が検査の目的部位となる場合は、その部位に直接防護用具を使用することは不可能である。低レートパルス透視、照射野制限、付加フィルタの使用、II を近づけるなどの行為を実践して線量低減に努めることが重要である。

【参考文献】 30

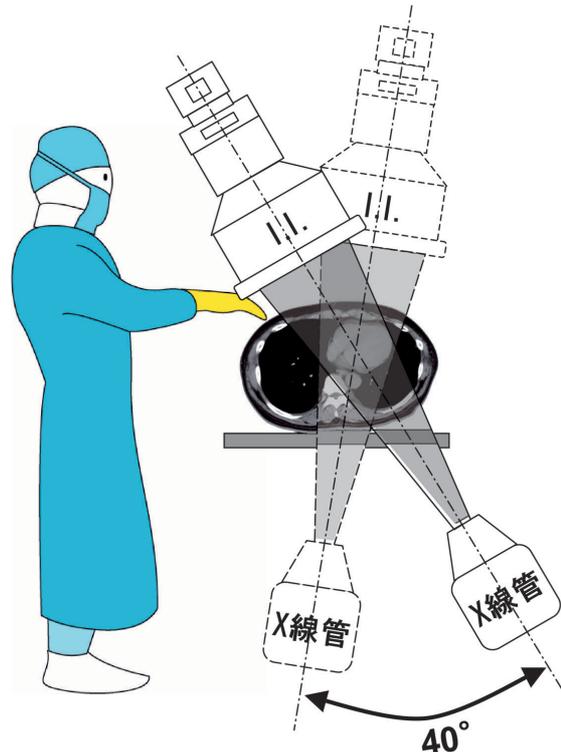
C 緊急検査・治療時の被ばくについての考え方

Q33: 急性心筋梗塞の患者さんに PCI をしています。線量をモニターしていたら、皮膚障害を起こす可能性のある線量を超えましたが、ほかに治療法がないので途中で止めることができません。皮膚障害を起こさずに検査を継続する方法はないでしょうか。

A: 皮膚障害を起こさないことより救命を優先すべきであるが、起こさないに越したことはない。皮膚障害の回避手段として、アームを回転させて患者の皮膚面での照射部位を異なった位置に移動する方法が考えられる。われわれは、40°以上 X 線入射角度を回転させることで、一次線錐の皮膚面での重複がなくなることを経験している（図 23）。このことは体軸方向（RAO-LAO）だけでなく、頭尾方向（Cranio-Caudal）も同様である。PCI で

図 23 患者皮膚入射線量を低減する方法例

X 線入射方向を 40° 変えると X 線入射皮膚面の重複がなくなる



は病変部位を最もよく分離できる角度で施行するため、途中で角度を変更することは難しいが、一考の余地があり、自分の施設で使用している装置の重複角度を把握しておくことは重要である。

【参考文献】 9

D シングルプレーン撮影装置使用時の注意点

Q34：シングルプレーン撮影装置を使用する場合の注意点を教えてください。

A：バイプレーン装置では、側面用撮影装置によってカテテルテーブルの高さが決められているため、患者と X 線管が必要以上に近付くことはない。しかし、シングルプレーン装置では、注意を払わないと思ひもかけない程近づいている場合がある。患者と X 線管の距離が近くなると、被ばく線量が大きくなるため注意が必要である。特に術者の身長が低い場合は、作業をしやすいため、カテテルテーブルを通常より低くしがちであるが、患者の被ばく線量が増加するため注意が必要である。

【参考文献】 9

E バイプレーン撮影装置使用時の注意点

Q35：バイプレーン撮影装置を使用する場合の注意点を教えてください。

A：バイプレーン装置は、同時に 2 方向から病変部を観察でき、造影剤の量も減らすことが可能なため、PCI に有効なシステムである。しかし、操作に慣れないと位置合わせのための透視が長くなったり、撮影中のパニングがうまくいかなかったりする。また、操作性を優先するあまり、患者から II を離れたままで透視・撮影を行い、結果的に被ばく線量が増加することもある。バイプレーン装置の特性を理解し、円滑に検査を行えるよう装置の使用に熟練すべきである。

【参考文献】 9

6 放射線皮膚障害の発生に影響するその他の因子

A 放射線皮膚障害の発生しやすい患者側の因子

Q36：放射線皮膚障害が起こり易い患者さんはいますか（年齢、体格、部位、基礎疾患、薬剤など）。また、放射線皮膚障害の起こりやすさに年齢差はありますか。もし、高齢者は特に皮膚障害を起こしやすいのならば、restudy CAG を行う際にも年齢を考慮した方がよいのでしょうか。

A：放射線皮膚障害の起こり易さは、以下のような患者

側の要因に左右される。

(1) 年齢：放射線の生物学的効果は、曝露時の年齢により異なると考えられる。一般的に、幼若な細胞ほど放射線に対する感受性が高い。放射線障害の本態は細胞の増殖障害であり、細胞の増殖周期が短い細胞の方が、増殖の遅い細胞や増殖を休止している細胞よりも放射線に対する感受性が高い。しかし、その一方で、放射線による障害の現れ方は、放射線によるダメージの修復機能にも依存するため、単純には論じられない。したがって、高齢者がとくに皮膚障害を起こしやすいかどうかに関しては、明確なエビデンスがない。

(2) 体格：肥満や筋肉などで胸郭の厚い患者は、痩せた患者に比較して X 線が透過しにくいいため、多くの線量を必要とする。また、肥満の患者は横隔膜が挙上しており、照射野内に腹部臓器が含まれることが多いため、照射する X 線の線量がさら増加する。これらの要因により、肥満の患者では被ばく線量が増加し、結果として放射線皮膚障害を起こしやすくなる（Q19、図 11 参照）。

(3) 部位：放射線感受性の程度は、皮膚の部位によっても異なる。Kalz らによれば、急性応答に関して最も感受性が高い部位は、頸部の前面と前肘部や膝窩といった四肢の屈曲部である。ついで胸、腹、顔、背中、四肢の外側、うなじ、頭皮、手、踵となる。毛嚢はこれらの部位の皮膚よりも感受性が高い。

(4) 基礎疾患：放射線照射との関係があると推察される疾患として、強皮症、ループスエリテマトーデス、混合性結合組織疾患（MCTD）が報告されているが、明確な関係は不明である。糖尿病と甲状腺機能亢進症は、放射線による障害を増幅する。MCTD と糖尿病を合併した患者が、IVR を受けて高度の壊死性潰瘍に陥ったとの報告もある。また、ホモ接合の遺伝子型を持つ Ataxia telangiectasia（運動失調）の患者は、明らかに放射線感受性が高い。

(5) 薬剤の影響：皮膚の感受性は、アクチノマイシン D、アドリマイシン、プレオマイシン、5 FU、MTX 等の化学療法剤によっても増加する。放射線照射後に発生した初期反応が治癒した後も、数ヵ月後にアクチノマイシン D を数週間投与しただけで、局所に皮膚障害が再発したとの報告がある。

いずれの場合も、カテテル検査・治療の臨床的意義が大きいのであれば、放射線皮膚障害が発症する可能性があるとしても、その手技の実施は正当化されると考えられる。ただし、患者へのインフォームド・コンセントは必須である。

【参考文献】 5, 28

B 被ばく間隔の影響

Q37：1回の入院期間に多枝病変に対するPCIを行う場合や、再狭窄を繰り返す病変に対しPCIを反復して施行する場合に、被ばくの影響は蓄積されるのでしょうか。蓄積されるのであれば、どのくらいの間隔をあければよいのでしょうか。

また、放射線照射量が多くなってきた患者さんにおいて、restudyなどの検査の間隔を長くすることによって、放射線障害のリスクを低減させることはできないのでしょうか。皮膚障害が現れつつある症例のみならず、その兆候が現れていない症例においても、検査間隔を長くすることにより将来皮膚障害が生じにくくなる、ということはないのでしょうか。

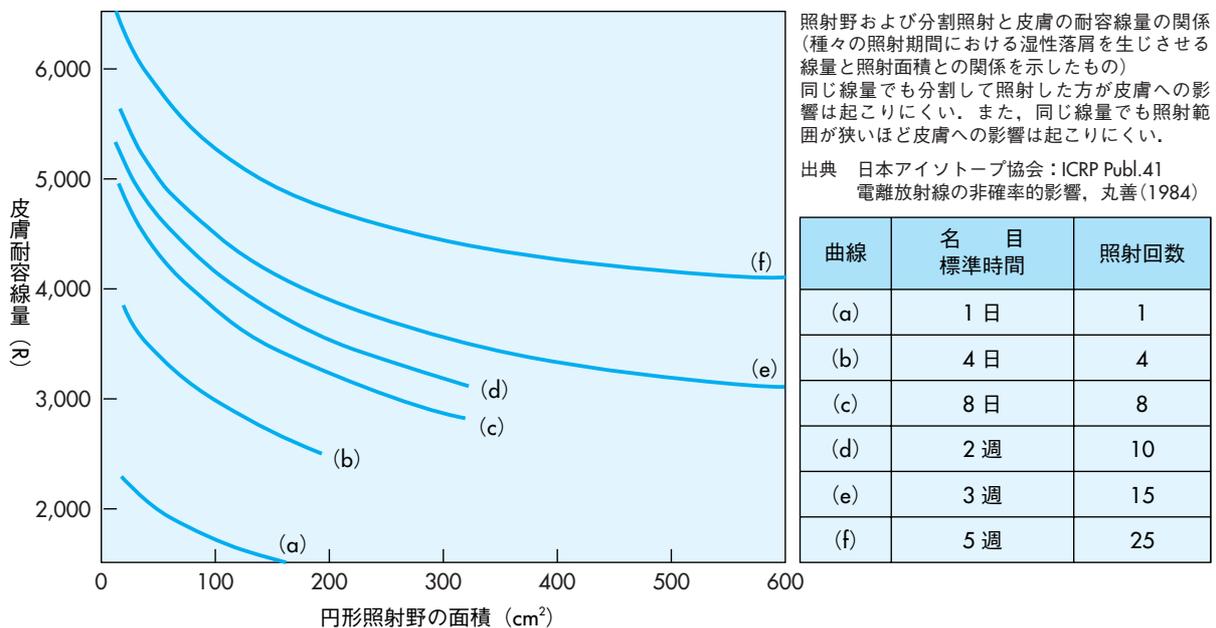
A：同じ線量であっても、一度に曝露した場合と分割して曝露した場合には、そのリスクが違うことが知られている。一般的には分割して照射した方が、細胞の修復機能が発揮されやすく、健康への影響のリスクが小さくなると考えられる。また、細胞の種類により放射線損傷の修復機能は異なり、がん細胞よりも正常細胞は、修復機能において優れていると考えられ、放射線治療では一般に分割照射が行われる。これは線量率効果を利用したものである。近年では、細胞を用いた実験で線量率効果を定量的に評価することも試みられている。

しかし、PCIにおいて照射の間隔を開けることによる放射線影響の低減効果は、必ずしも明確ではない。この

ため、患者が放射線により受ける影響は、確定的影響である組織反応と確率的影響の2種類の影響に分けて、患者の病状に応じた診療計画を策定する必要がある。

(1) 確定的影響：PCIにおける放射線の影響では、確定的影響である放射線皮膚障害の防止が最も重要である。このため、繰り返し手技を行わざるを得ない症例では、放射線皮膚障害のリスクを可能な範囲で低減する必要がある。このような臨床上の意志決定においては、放射線治療の経験も役立つ。図24は、分割照射による湿性皮膚炎を生じる線量の変化を示したものである。縦軸の線量は照射線量の旧単位であるR（レントゲン）で示されている。診断領域のX線では、1Rが空気カーマとして10mGy程度であるため、2,000Rがおおよそ20Gyである。この図は放射線治療でのデータが基になっているので、そのまま診断領域には当てはまらないかもしれないが、照射線量から空気カーマへの換算の関係はさほど変わらない。照射面積の減少、分割回数が増大に従って、湿性皮膚炎を生じる線量が大きく増加している。ヒトの皮膚では、10平方センチの面積に紅斑を生じるX線のしきい線量は、1回短時間被ばくの場合には6-8Gy、多数回分割照射で30Gy以上となる。一方、放射線生物学的な修復過程の時間スケールとしては、1,000-10,000秒（約16-160分）とされているので、それ以上長い間隔を開けても、リスクの低減効果は小さいと推察される。他方、放射線皮膚障害の重篤化を避けるという観点からは、手技中の被ばく線量から症状が出現する可能性のあ

図24 被ばく間隔の影響



る場合には、術後に十分に観察して対応を準備しておくことも有用である。このため、可能であれば、症状が出現する可能性のある期間、手技を延期させることも考えられる。

いずれにしても、照射野を小さくする方が、放射線皮膚障害のリスクの低減効果は相対的に大きい。また、照射された皮膚の範囲を把握しておくことで、次回に照射する場合に放射線皮膚障害のリスクを小さくすることができる。放射線を皮膚に照射する領域を変えれば、少なくとも、その皮膚の累積線量が大きく増加することはない。このため、緊急性を要する場合には、放射線皮膚障害のリスクを小さくするように線量の二次元分布を考慮するなどの対策を講ずる必要がある。この場合の照射の三次元幾何学的条件の事前設定での線量分布の予測計算では、放射線診療部門の支援を受けるのがよいであろう。

(2) 確率的影響：積算された被ばく線量の健康リスクは必ずしも明らかではない。ただし、たとえ線量が積算されたとしても、そのリスクは治療を行わなかった場合の冠動脈疾患のリスクに比べると遙かに小さいと考えられる。このため、患者の年齢が小さいなどの特別な事情がなければ、確率的影響のリスク制御を検討することの意義は相対的には小さい。このように照射間隔にこだわることに明確な利益はないと考えられる。

【参考文献】 31, 32

7 医療従事者の被ばく線量低減のための工夫

A 医療従事者の被ばく

Q38：術者の被ばくには X 線管から照射される放射線ではなく、患者さんの身体から発生する放射線が重要であると聞きましたが、どういうことでしょうか。

A：X 線が医療に利用され始めた頃には、X 線装置の完成度が非常に低かったので、術者は患者から発生する X 線だけでなく、不完全な X 線管容器や絞り器などからの漏洩 X 線によって被ばくすることが多かった。その後、科学技術の進歩とともに X 線装置も発達を遂げ、現在、厳しい基準で製造された X 線管容器や可動絞り器から X 線が漏洩することは極めて少ない（可動絞り器のアクリル板からの散乱 X 線による術者被ばくもあるが、その量はそれ程多くなく、全体の 5% 程度である）。このため、術者の被ばくに寄与するのは、ほとんどが患者からの散乱 X 線であり、術者の受ける線量を低減するには、患者からの散乱 X 線を制御することが

重要となる。換言すれば、患者の被ばく線量をできるだけ少なくすることが、術者の被ばく線量を低減することにつながる。

Q39：PCI 従事者は被ばく線量が多く、放射線障害が心配です。従事者の放射線障害について教えてください。また、年間どのくらい PCI や冠動脈造影検査に従事したら健康に影響がでるのでしょうか。

A：PCI は高線量率の X 線透視を長時間行うために、患者の近傍で作業する PCI 術者の被ばく線量は、他の放射線診療従事者に比べて高い。しかし、PCI に伴う放射線診療で実際に放射線障害が発症した報告は稀で、眼の水晶体の白内障が発症した事例がある。水晶体の白内障は、短期間で 2 Gy 以上の被ばくや、3 ヶ月以上にわたる場合は 5.5 Gy 以上の被ばくで発症する可能性がある。したがって、PCI 従事者の線量限度は、眼の水晶体で 150 mGy/年間、皮膚は 500 mGy/年間とされる。線量限度を超えるおそれがないように、被ばく管理とその防護が大切である。なお、最近米国の IVR 担当医師が 2 Gy 以下の被ばくで白内障を発症したという報告や、“チェルノブイリ白内障研究”では、放射線白内障が 250 mSv 程度の線量でも発症しうることが示唆された。これらの報告は、原爆被爆者、宇宙飛行士、頭部に X 線 CT スキャン検査を受けた患者を対象とした研究結果などと一致しており、放射線診療従事者の放射線障害の防止に努める必要がある。

また、法令では、心カテ検査などに従事する放射線診療従事者は、以下の線量限度を超えて被ばくしないように管理しなければならない。

1. 5 年間につき 100 mSv
2. 1 年間について 50 mSv
3. 女子については、上記のほか 3 月間につき 5 mSv
4. 妊娠中の女子については、上記のほか、本人の申出等により病院又は診療所の管理者が妊娠の事実を知った時から出産までの間につき、内部被ばくについて 1 mSv
5. 妊娠中である女子の腹部表面については上記 4. に規定する期間につき 2 mSv
6. 眼の水晶体については、1 年間につき 150 mSv
7. 皮膚については、1 年間につき 500 mSv

冠動脈造影検査など放射線診療に従事するものは、いかに多くの検査を施行しようとも、上記線量限度を厳守することが管理者に求められている。そのためには防護衣や防護用具を駆使して被ばく低減を図るとともに、ガ



ラスバッジなどの個人線量計を着用し、線量限度を超えないように管理された環境下で作業することが重要である。
【参考文献】 21, 33, 34

B 術者と助手の被ばく線量の違い

Q40：冠動脈造影検査において、術者と助手の立つ位置の違いによる被ばく線量の違いについて教えてください。
A：図 25 は患者に最も近い位置でカテーテル操作をしている術者を 1st，その脇で補助をしている助手を 2nd と表し、それぞれが着用している防護衣外側の生殖腺位置に線量計を装着し、経時的な線量（実効線量）の変化を記録したものである。患者の X 線入射点が一番近い位置で作業している 1st が大きな線量に曝されている。一方、その脇で作業している 2nd は、1st よりも X 線入射点から離れていることと、1st が遮へい体となっていることから、線量は 1st より大幅に少ないことが判る。図中、①で 1st と 2nd が位置を交代した途端、2nd の線量が増えている。この PCI 症例の所要時間は 55 分間だったが、その間 1st の線量は約 1 mSv，2nd は約 140 μ Sv だった。1st が約 10 倍近い線量に曝されている。1st と 2nd が位置を交代したのは 7 分間で、検査全体の約 8 分の 1 の時間だったが、その間の 2nd の線量は約 100 μ Sv で、検査全体で曝された 2nd の線量の 7 割がその時間に集中している。患者に一番近い位置がいかに多くの線量に曝される場所であるかが理解できるであろう。

【参考文献】 21, 33, 35

C 個人線量計の使用法

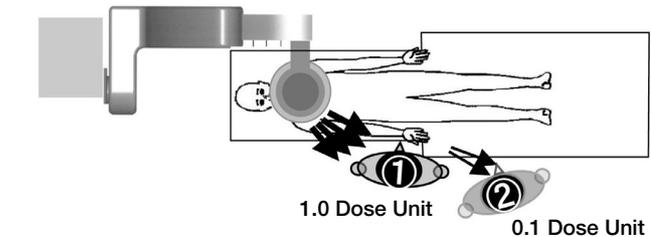
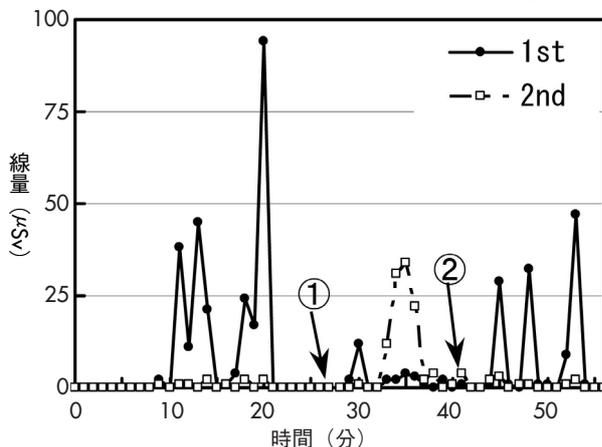
Q41：個人線量計（ガラス線量計や OSL 線量計）には、頭部用、胸部用がありますが、それぞれどの位置に装着すべきなのでしょうか。また、プロテクタの下のどこに装着すべきなのでしょうか。

A：図 26 に個人線量計の装着部位を示す。PCI に従事する際には、防護衣の内側に 1 つ、防護衣の外側に 1 つの合計 2 個を装着する。防護衣の内側の線量計は、女性は腹部、男性および妊娠する可能性がないと診断された者、及び妊娠する意志のない旨を病院または診療所の管理者に書面で申し出た女性の場合は、胸部に装着する（平成 13 年 3 月 12 日医薬発第 188 号）。防護衣外側の線量計は、水晶体の被ばく線量をモニターするために頭部に装着する。

Q42：リングバッジは手技の妨げになるので装着したくありません。リングバッジを使わずに術者の手指の被ばく線量を推計する方法を教えてください。

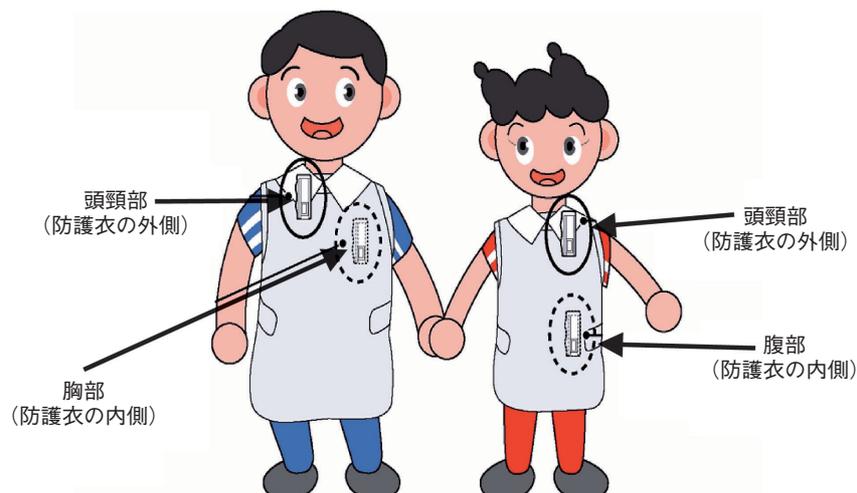
A：放射線診療従事者は個人線量計を着用し、線量限度値を超えないことの確認を行い、被ばく線量が多いようであれば、被ばく低減に向けた作業方法と作業環境の改善が大切である。リングバッジは、胸部や腹部など体幹部用個人線量計と異なり、局所部位である指の被ばく線量を測定するため、指リング型に TLD や蛍光ガラス線量計を装着してある。このため、大きな指輪を付けた感じとなり、繊細な IVR 手技を行う際には違和感を与える。しかし、IVR 手技に際しては、照射野の近傍付近に手指を置いて操作する場合、手指の被ばくは体幹部に着用した個人線量計よりも一桁以上も高い被ばくが予想さ

図 25 術者の助手の被ばく線量の違い



PCIにおける防護前掛外側（胸部部分）での1stと2ndの線量の経時変化比較
矢印①で1st①と2nd②が位置を入れ替わり、矢印②で元の位置に戻った。
縦軸は1分間の積算線量を示す。

図 26 個人線量計の装着部位



れる。このため、体幹部以外の部位で被ばく線量が最大となる手指に指リング型のリングバッジを装着し、皮膚（手指）の線量限度である年間 500 mSv を超えない被ばく管理が必要である。

なお、体幹部以外で被ばく線量が最大となる部位（手指）に個人線量計のリングバッジを装着できない場合は、最大となる部位の線量を推計するために、手首に装着するリスト線量計も有効である。また、作業内容に応じた手指における作業場のモニタリングと作業時間から推測する方法もある。さらに、ファントム等を用いて模擬操作を行い、事前にシミュレーションして評価することも可能である。しかし、従事者は検査中に想定外の行動をとる場合もあり、これらの推計方法はともに不確実な要因が多い。このため、皮膚被ばく線量と実効線量の比が 10 倍を超える場合は、リングバッジの装着が必要であり、月 10mSv 以上の皮膚被ばくが推計される場合は、リングバッジの装着が推奨される。また、照射野の中に手指が入ることがないように手技を工夫すべきであることは言うまでもない。

【参考文献】 36, 37

Q43：術者の手指に付けた線量素子の指示値から、術者の手指の被ばく線量を推計する方法を教えてください。

A：手指の被ばく線量は、体幹部以外の最大となる末端部の皮膚の等価線量として、70 μ m 線量当量を評価する。なお、手指用の個人線量計の値は、70 μ m 線量当量で評価されているのでその値で推計する。また、複数の個人線量計を着用している場合は、最も高い 70 μ m 線量当量を皮膚線量とし、過少評価にならない推計値を

記録する。

線量素子が空気カーマの Gy の指示値であり、X 線診断レベルのエネルギーの場合は、Gy に約 1.2 倍することで、Sv 単位の 70 μ m 線量当量が換算できる。

Q44：術者の頸部に付けた線量計の指示値から、術者の水晶体の被ばく線量を推計する方法を教えてください。

A：放射線診療従事者の水晶体の線量限度は、3 mm 線量当量で年間 150 mSv である。個人線量計を水晶体に装着することは不可能であり、眼の周辺部位である頭頸部に個人線量計を着用し、水晶体の等価線量を評価する。3 mm 線量当量は、この頭頸部に着用した個人線量計の 1 cm 線量当量と 70 μ m 線量当量の最も高い値とする。また、眼鏡を着用している場合は、遮へい効果を考慮した線量推計が望ましいが、眼鏡の遮へい効率や着用状況の確認などが必要であり、過少評価にならない推計値を記録する。

D 防護衣の種類と効果・鉛当量の影響

Q45：PCI 時に着用する防護衣はどのようなものを選べばよいでしょうか。鉛当量 0.25 mm と 0.35 mm のプロテクタがありますが、装着した場合の被ばく線量は、装着しない場合に比較してどの位なのでしょう。0.35mm の方が少ないのか、0.25 mm で十分なのか教えてください。

A：防護衣については、その防護能力が高いほどよいが、一般的に防護能力の高いものは重くなる。重い防護衣を着用すると、診療行為に対する集中力が疎外されたり、腰痛の原因になることがある。

現在 JIS では 0.25 mm, 0.35 mm, 0.50 mm の鉛当量を持つ含鉛シートを、防護衣の材質として規定している。一般的に鉛当量の大きなものほど防護能力は高くなるが、それにつれて重くなる。図 27A に防護衣の遮へい材の厚さと、遮へい能力を 0.25 mm と 0.35 mm の防護衣で比較したものを示す。また、図 27B に冠動脈検査において実際に測定した遮蔽効果を示す。0.25 mm で十分な遮へい能力が得られており、0.25 mm と 0.35 mm とで遮蔽能力に有意差はない。術者は、重い素材で全身を包むのではなく、0.25 mm 程度の比較的軽いものを使用し、その他の防護用具を併用することが勧められる。なお、最近では鉛と同等の防護能力を有する軽い素材の防護衣が市販されているので、用途に応じて選択するとよい。

【参考文献】 21, 34, 35

Q46: プロテクタには、背部に鉛が入っていないエプロン型、背部にも鉛が入っているコート型、上下セパレート型などがありますが、放射線被ばく軽減に効果の差はありますか。また、理想のプロテクタはどれでしょうか。
 A: 一般的に、術者の背側に防護衣を着用すると、透視中、患者に背を向けて作業した時や、患者身体で散乱したのち壁等で散乱した X 線の入射を防ぐことができる。

背側を 0.25 mmPb の防護衣でカバーした場合、背側の組織吸収線量を半分程度に低減できる。しかし、患者に対して背中を向けないようにすれば、背側から入射する X 線量はさほど大きくはないので、実効線量としてはほとんど変わらない。したがって、重量も大きく作業性も低下するコートタイプのような防護衣で身体を覆うよりは、軽量なエプロン型の防護衣を着用して、術中に患者に背中を向けないように注意すればよい。また、エプロ

図 27B 冠動脈造影検査における防護衣の遮蔽効果
術者胸部における線量比較

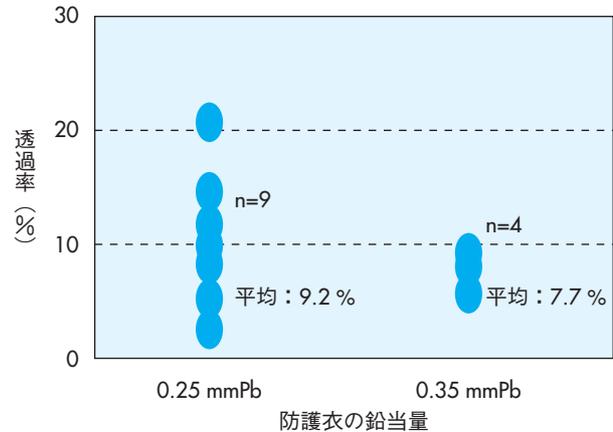
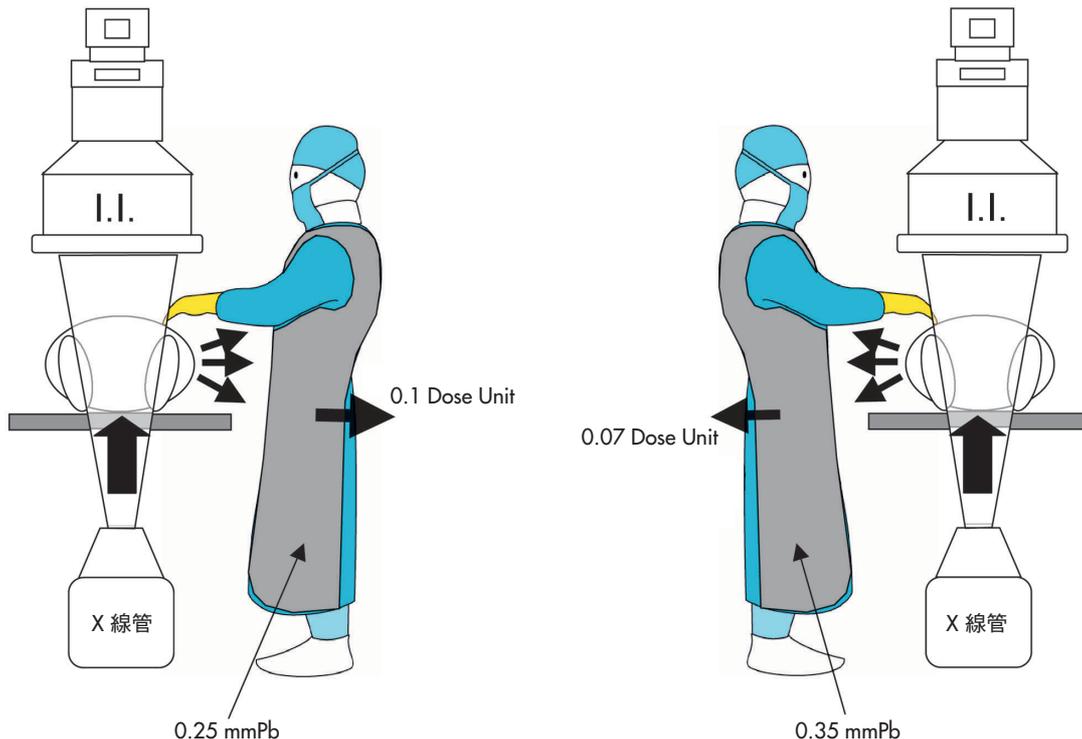


図 27A 防護衣の遮蔽効果

0.25 mmPb と 0.35 mmPb の比較。管電圧 120 kV の場合
防護衣なしのとき術者の受ける線量を 1 として比較した



ン型はその重量が主に肩にかかるのに対し、セパレート型は肩と腰に重量が分散するため術者の疲労が少なく作業性に優れる。

【参考文献】 21, 33, 34, 38

E | 防護衣の保守・管理

Q47: 防護衣にも寿命があると聞きましたが、防護衣の正しい品質管理方法を教えてください。

A: 防護衣は、高原子番号の元素（鉛など）を均一に含有したシート状の材質のものを、ゴムや合成樹脂のシートで覆ってある。容易に破断や引き裂きが生じないような強度をもっているため、半永久的に使用できると考えがちである。しかし、着用することによって物理的疲労が生じ、内部の遮蔽材が断裂することがある。また、汗や血液、造影剤などが付着することにより、耐久性が低下することもある。一般に市販されている防護衣には使用期限が記載されているので、それを目安するとともに、定期的に品質管理を実施して、安全を確認する必要がある。

防護衣の使用にあたっては次の点に留意すること。

1. 防護衣は X 線を完全に遮断するものではない。
2. メーカーの指定する使用期限を超えて使用する場合は、使用施設の責任において安全の確認をすること。
3. 折りたたまないで、ハンガーなどに掛けて保管する（内部の遮蔽材が断裂する）。
4. 防護衣に過剰なストレスを与えない（椅子などに掛けた防護衣の上に座らない）。
5. 防護衣に付着した血液や造影剤は、ぬるま湯などで拭き取り清潔に保つ。
6. 定期的に防護衣の外観を検査し、被覆シートが破

れていないか確認する。

7. 定期的に防護衣を透視して、内部の遮蔽材が断裂・脱落していないか確認することも推奨される。

【参考文献】 34, 39, 40

F | ゴーグル・頸部プロテクタの効果

Q48: 毎日多くの PCI を施行しており、自身の被ばくが心配です。PCI 時に使用する防護用具として、防護衣以外に身につけるもので有効なものを教えてください。また、装着することにより被ばく線量はどの位軽減されるのでしょうか。

A: 図 28A に示すような、甲状腺や頸部を防護するネックガード、眼を防護する防護眼鏡やゴーグル、顔面を防護するフェイスガード、手を防護する防護手袋などがある。これらの防護用具も、防護衣と同様にあまり重いものは避け、長時間身につけていても苦痛にならないものが推奨される。一般に、血管撮影装置は X 線管が患者よりも下側にあるので（アンダーテーブル式）、上半

図 28A いろいろな防護用具

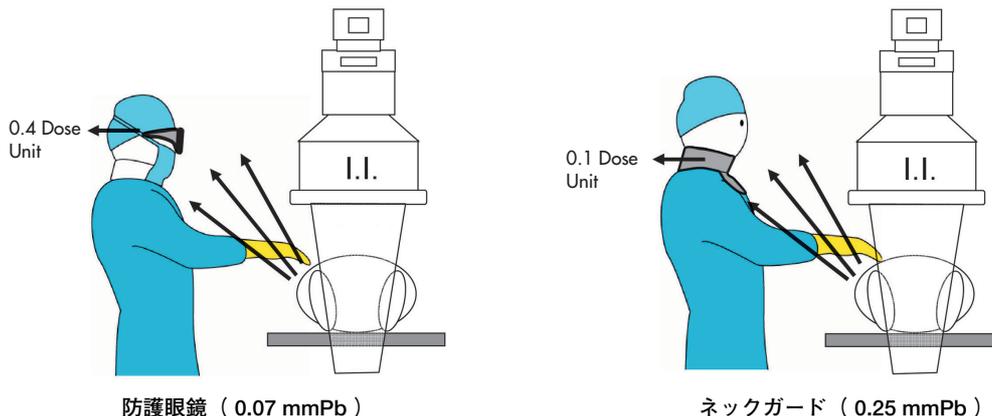


防護眼鏡：ゴーグルタイプ
(0.07 mmPb)

ネックガード

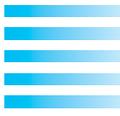
図 28B いろいろな防護用具の防護効果

それぞれの防護用具を使用しない時の術者の受ける線量を 1 として比較した



防護眼鏡 (0.07 mmPb)

ネックガード (0.25 mmPb)



身への線量はそれ程多くないと考えがちであるが、PCIではいろいろな方向から X 線を照射するので、上半身の防護も必要である。

防護眼鏡・ゴーグルは、顔面、特に水晶体を放射線被ばくから守るために装着する防護用具であり、含鉛ガラスまたは、含鉛アクリルで作られている。含鉛ガラスは鉛当量の大きいものを使用できるため、防護効果の大きいものが作れるが重い。含鉛アクリルは加工しやすく軽いため、さまざまな形状のものが作れるが、透明度がガラスより劣るので鉛当量の大きいものが作りにくい。また、X 線の防護だけでなく、血液や体液の飛散から目を防護する効果の点でも使用が推奨される。ネックガードは甲状腺の防護を目的として装着する防護用具で、防護衣と同じ含鉛シートで作られている。

図 28B は 0.07 mmPb の含鉛アクリル製防護眼鏡と 0.25 mmPb 含鉛シート製ネックガードの防護効果を示したものである。鉛当量 0.07 mmPb の比較的薄い防護眼鏡でも、約 60 % の防護効果がある。0.25 mmPb 含鉛シート製ネックガードは、防護衣と同様に約 90 % の防護効果がある。

【参考文献】 21, 33, 34

G 撮影室に装備が推奨される防護装置と使用法

Q49：PCI を行う検査室に備えておくに役に立つ防護用具の種類と、その有効な設置位置・使用法を教えてください。

A：装置側に防護用具を取り付けると、従事者は軽量の防護衣着用で済むため、疲労の軽減が図れる。単独の防

護用具で全ての防護を行うと形状が大きくなり、撮影アームやカテーテルテーブルの移動を妨げるため、患者の位置に合わせていろいろな形状の防護用具を組み合わせるとよい。検査室に常備しておくことが推奨される防護用具として以下のものがあり、外観と遮へい効果を図 29A, B に示す。これら 3 種類を併用することにより、より広い範囲の遮蔽効果が得られていることが分かる。

図 29A いろいろな防護用具の外観

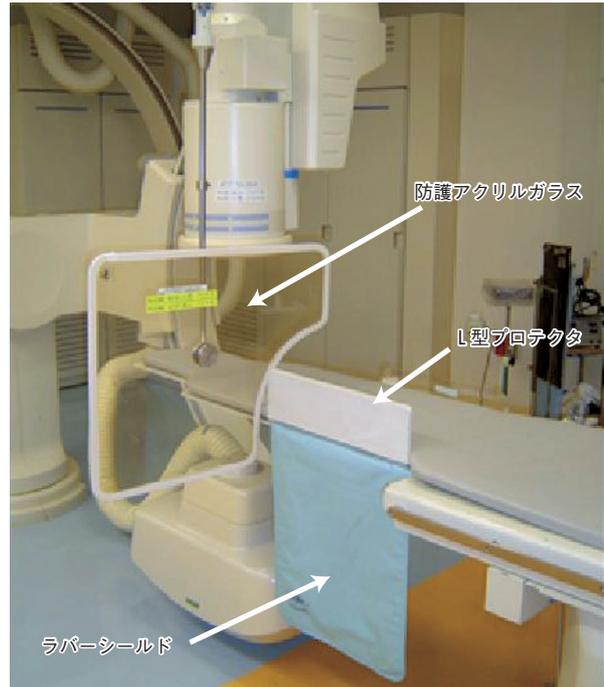
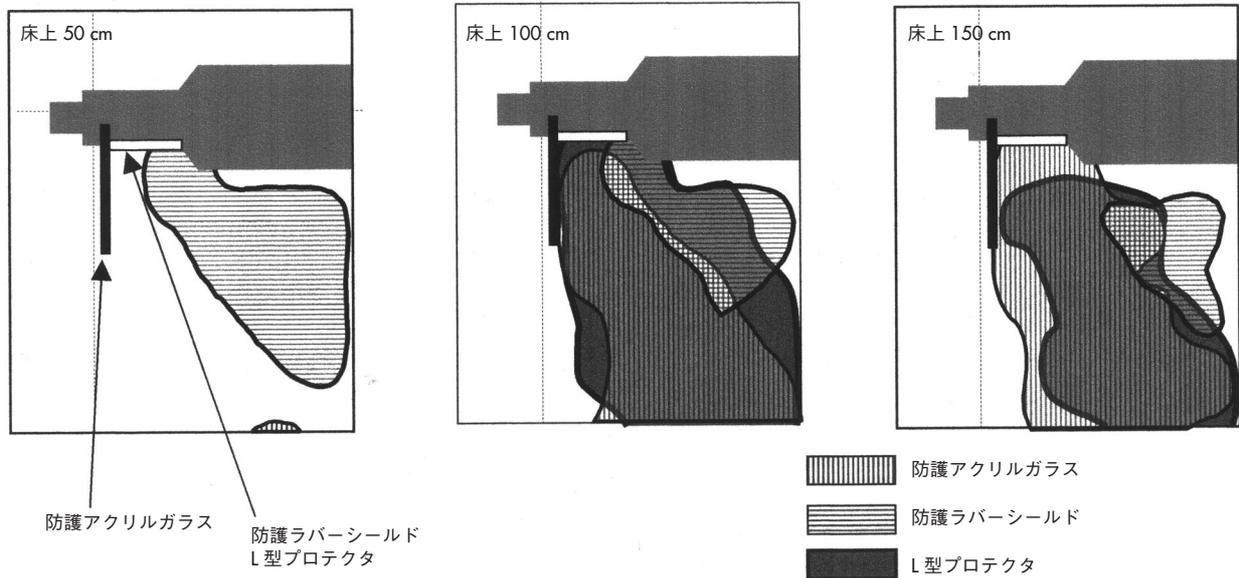


図 29B 3 種類の防護用具の効果

線内は、床上 50 cm, 100 cm, 150 cm の水平断面における 50 % 遮蔽領域を示す



防護アクリルガラス
 防護ラバーシールド
 L型プロテクタ

- (1) 術者の下半身を防護するもの（ラバーシールド）：含鉛ゴム製で、カテーテルテーブルから垂らすように取り付ける。
- (2) 術者の腹部を防護するもの（L型プロテクタ）：カテーテルテーブルと患者の背中との間に挿入するL字型の防護用具で、放射線防護と患者の腕置きを兼ねたものである。衝立部分の高い方が防護効果は大きいですが、作業性が低下する。図 28 に示したものの高さは 15 cm である。
- (3) 術者の上半身を防護するもの（防護アクリルガラス）：天井走行レールや天井に直付けした含鉛アクリル板が一般的である。天井走行レールに取り付けられれば、広い可動域が得られるが、アーム角度によっては II 等と干渉するので取り扱いに注意が必要である。

【参考文献】 21, 33, 34

Q50：検査室には可動性の含鉛アクリル板が設置されています。術者防護に最も効果的な位置を教えてください。

A：術者が被ばくするのは、ほとんどが患者身体で散乱された X 線による。このため、含鉛アクリル板は、患者と術者の間で、できる限り患者に近づけて設置するのが効果的である（術者と X 線管の間ではない）。図 30 に最も効果的な位置の一例を示す。

【参考文献】 21, 33, 34

図 30 防護衝立の有効な位置（矢印）



H | 背後・下方からの散乱線の影響

Q51：放射線は物質に当たると散乱しますが、検査室の床面で散乱した X 線が、下方向から生殖器に及ぼす影響はどの程度でしょうか。また、防護衣の着用でどの程

度防護できるのでしょうか。

A：患者の近くで放射線診療に従事すると、術者の生殖器も放射線に被ばくするのは事実である。しかし、患者で散乱し、さらに床面で散乱し下方向から術者に到達する X 線の寄与はほとんど無視できるため、術者の生殖器に入射する X 線は、主に患者で散乱したものである。術者の生殖腺の被ばく線量は、患者との位置関係などにより異なる。患者から 20 cm 離れた部位で防護衣を用いない場合を想定すると、患者の入射表面線量の 0.3 % 程度になり得る。例えば、患者の受ける線量が 1 Gy であるとする、術者の位置では 3 mGy 程度の線量となる。ここで、鉛当量 0.35 mm 程度の防護衣を装着すると 15 % 程度に低減させることができるので 0.4 mGy 程度と考えられる。

I | 検査室内の線量分布

Q52：PCI 時の検査室内の線量分布を教えてください。

A：検査室内の線量分布を把握しておけば、少ない被ばく線量で円滑な作業を行えるため、心カテ室に立ち入る医療従事者は、検査室内の線量分布を知っておくことが大切である。

(1) 透視時の線量分布

図 31A, B, C にいろいろな X 線入射方向における線量分布を示す。PCI 時には、いろいろな方向から X 線を照射するので、その都度線量分布が変化するが、一般的に X 線管がある側の線量が高くなる。すなわち RAO 方向では患者の左側、LAO 方向や左側面では患者の右側の線量が高くなる。

(2) 撮影時の線量分布

撮影時は透視時の 10 倍以上の線量率になる（図 31D）。撮影時には、比較的線量率の低い検査室の周辺ですら、透視時の術者位置に匹敵する線量率になる。このため、検査室内で作業する医療従事者は、撮影時には防護衝立を使用するか、検査室から退室することが推奨される。

このような線量分布をふまえ、ICRP Publ.85 では、術者は II 側に立つべきと勧告しているが、検査の種類や装置の形状によっては不可能な場合も多く、現実的でないことが多い。むしろ、防護用具を利用して防護するのが実状に即した方法であろう。

【参考文献】 21, 35

Q53：緊急時に透視をした状態で、プロテクタを着用し

図 31A 検査室の線量分布 (X線入射方向:P-A, 透視)

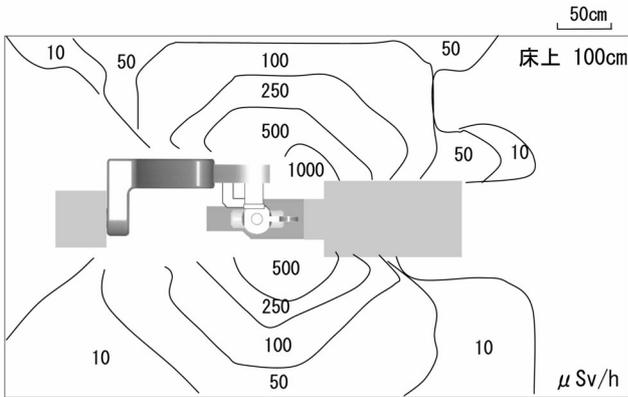


図 31B 検査室の線量分布 (X線入射方向:RAO30°, 透視)

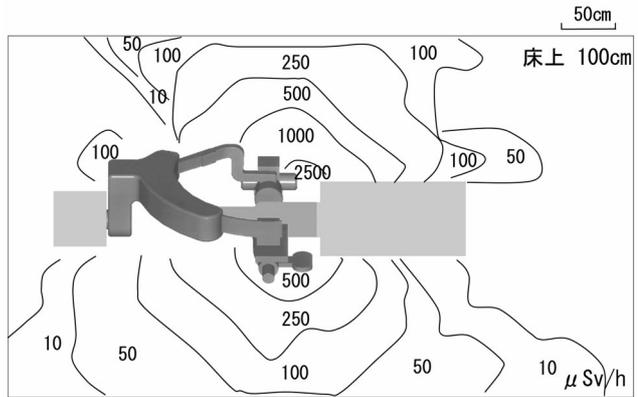


図 31C 検査室の線量分布 (X線入射方向:LAO60°, 透視)

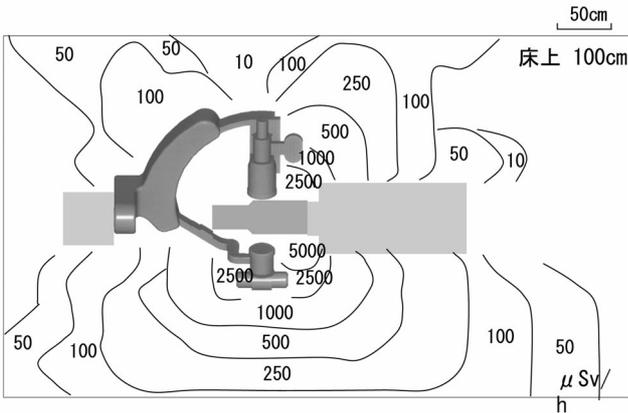
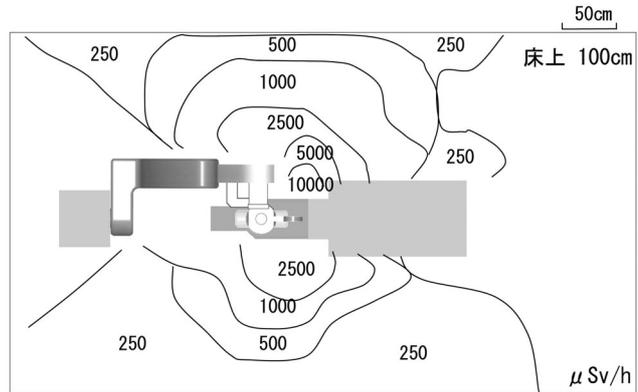


図 31D 検査室の線量分布 (X線入射方向:P-A, 撮影)



て電氣的除細動を行う場合の注意事項を教えてください。
A: PCI 施行中の術者を含めた医療従事者の被ばくは、散乱線によるものがほとんどであり、その線量は被ばく時間にはほぼ比例する。また、被ばく線量は散乱線源である患者身体からの距離・遮蔽の有無・撮影方向などによって左右される。したがって、被ばく線量を減らすためには、必要な時以外は可能な限り患者の X 線入射点から距離を取ること、および電氣的除細動を行った後は速やかに離れる注意が必要である。図 31 に示す透視・撮影中の線量分布が参考になる。また、照射野の近くに他の医療従事者がいる時には、術者は可能な限り透視・撮影をしないという配慮も必要である。透視部位と作業位置が近いとはいえ、除細動に要する時間は長くないため、防護衣や防護眼鏡を着用して、前述した注意事項を守っていれば線量を十分に低減できる。除細動を行う者が線量限度を超えて被ばくする可能性は低いことは、図 31 からも推察できる。

【参考文献】 21, 34

Q54: 透視下で手技を行う場合に、被ばくを低減させるための術者手指のポジショニングのコツを教えてください。
A: PCI を実施する場合、X 線による透視・撮影が不可欠である。術者がカテーテル挿入のため動脈を穿刺するときや、カテーテル交換時に操作を安全に行うために穿刺部位を透視して確認することがある。その際、術者の手指が直接 X 線照射野に入ることがある。図 32A に手指が照射野内にある場合と、照射野外にある場合の手指の受ける線量を示す。可動絞り器によって絞られた照射野の外側は、散乱 X 線による被ばくのみであり、照射野端から 1 cm 外側に移動するだけで、線量は照射野中心部 (①) に比較して 40% に減少する (②)。さらに 9 cm 離すと 10% に減少する (③)。検査の円滑な進行と患者の安全を図るため、やむを得ず直接 X 線錐内に手指など体の一部分が曝されることがあるかもしれないが、照射野を絞るなどして、手指などをできるだけ直接 X 線に曝すことのないよう努める。

X 線透視装置には、アンダーテーブル方式とオーバー

図 32A 照射野と手指の受ける線量の関係

X線入射方向を P-A とし、照射野中心の線量を 1 として比較した

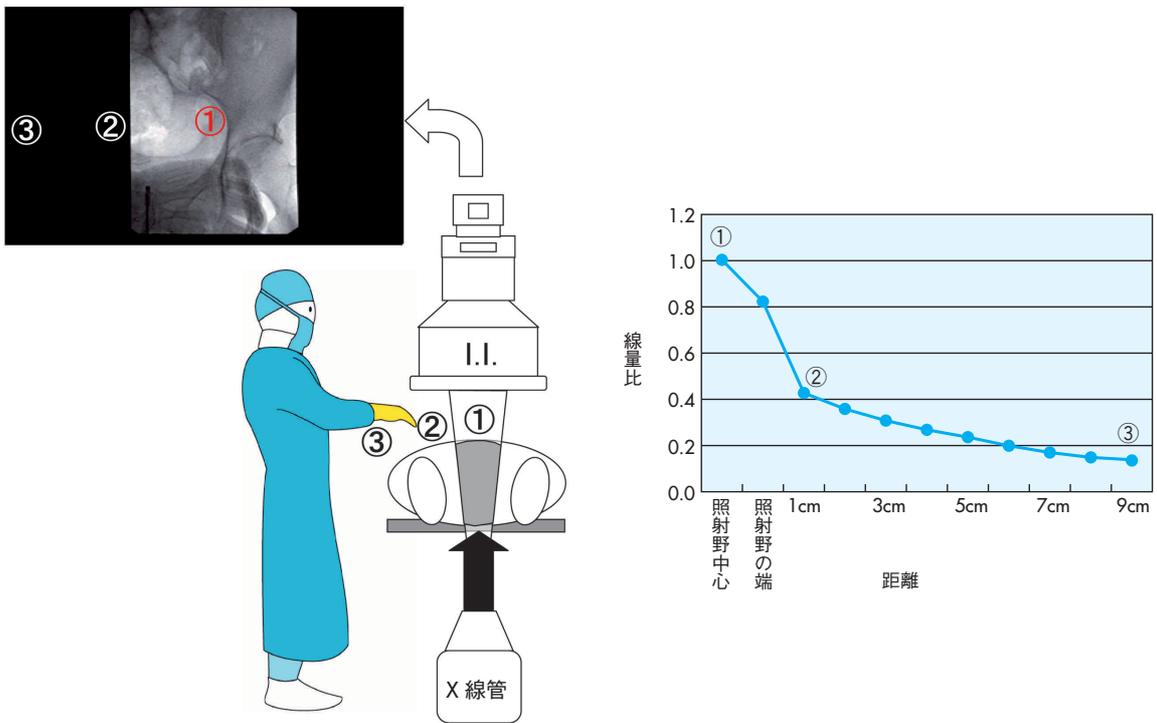
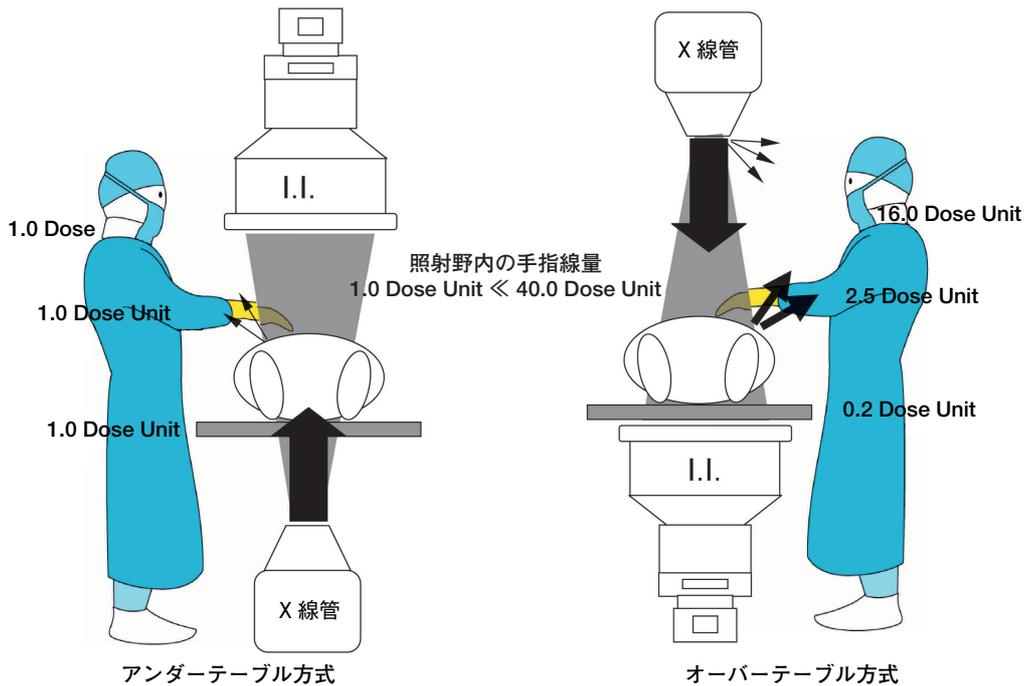
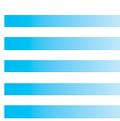


図 32B アンダーテーブル方式とオーバーテーブル方式における術者各部の被ばく線量

X線入射方向を P-A とし、アンダーテーブルで術者の受ける線量を 1 として、各部を比較した





テーブル方式がある。オーバーテーブル方式では、直接 X 線錐内に曝された手指の被ばく線量が、アンダーテーブル方式の数十倍になるので注意を要する (図 32B)。また、オーバーテーブル方式では、手指を X 線照射野に近づけるだけで、アンダーテーブル方式で手指を直接 X 線錐内に入れるよりも大きくなることも知っておく必要がある。その際、術者の体幹部および頭頸部の受ける線量はオーバーテーブル方式の方が大きく、頭頸部において顕著である。オーバーテーブル方式では X 線管装置が術者の眼前に位置する 경우가多く、可動絞り器のアクリル板からの散乱 X 線も寄与していると考えられる。

J | 女性医療従事者の妊娠

Q55：血管撮影に従事している女性医師ですが、妊娠したことが分かりました。今後はどのように対応すればよいでしょうか

A：まず、管理者に妊娠した旨を伝える必要がある。管理者は、妊娠した女性に対し胎児の被ばくが線量限度を超えないよう配慮しなければならない。法令では、妊娠の期間中（妊娠と診断されたときから出産までの期間）の腹部表面における等価線量の線量限度を 2 mSv と規定している。また、腹部表面における等価線量の 1 ヶ月ごと、および妊娠中の合計線量の記録が義務付けられている。ちなみに、胎児については公衆の線量限度が適用されるため、妊娠から出産までの期間に胎児が受ける吸収線量を 1 mSv 以内にすることが必要である。なお、法令は妊娠した女性診療スタッフの被ばく状況を十分に管理することを規定しているのみであり、妊娠した女性が放射線や放射性物質を使用する作業を完全に避けることや、指定された放射線区域への立ち入りや、そこで作業することを禁止しているわけではない。当事者は、これらのことを十分に周知して日常の業務に当たることが肝要である。

一方、管理者は女性職員が働きやすい環境を整備するため、妊娠の事実を管理者等に届け出るための用紙を準備しておき、その後の管理に役立てるとよい。いずれにせよ、女性診療スタッフが妊娠したことが判明したら、管理者は当人とよく話し合い、安心して妊娠を継続しつつ作業に従事できるようにする必要がある。

K | 医療従事者への教育・再教育

Q56：PCI に従事する医師・看護師・技師に対する放射線に関する教育・再教育は、どのように義務づけられているのでしょうか

A：放射線障害防止法や電離規則・人事院規則などで

は、従事者に対する教育訓練が義務付けられている。また、患者に放射線を照射する業務に従事する者は、法律に定められているから受講するのではなく、我が身と患者の安全を守る立場から放射線に関する知識を積極的に得るようにしなければならない。なお、電離規則は X 線装置に従事する者に対して、放射線安全に関する特別な教育を行うことが示されている。

(注) 教育訓練の項目と頻度について：放射線障害防止法では、初めて管理区域に立ち入る前に 1 回、立ち入った後は 1 年を超えない期間ごととある。

教育訓練の内容：

- (1) 放射線の人体に与える影響 [30 分間]
- (2) 放射性同位元素等又は放射線発生装置の安全取り扱い [4 時間]
- (3) 放射性同位元素および放射線発生装置による放射線障害の防止に関する法令 [1 時間]
- (4) 放射線障害予防規程 [30 分間]

ただし、すでに十分な知識および技能をもっているものに対しては、教育・訓練の内容の全部または一部を省略することができる。

L | 労災認定の要件

Q57：放射線診療従事者が放射線障害を発症した場合に、労災が認定される要件を教えてください。

A：放射線診療従事者が、放射線業務の際に受けた放射線が原因で放射線障害になった場合は、労働者災害補償保険法（国家公務員は、国家公務員災害補償法）により、医療などに関して補償を受けることができる。認定の要件としては、急性放射線症、急性放射線皮膚障害、慢性放射線皮膚障害、放射線造血器障害、白血病および白内障に関して認定基準が示されている。白血病の認定要件は、被ばく後 1 年を超える期間に発症した疾病であり、相当量の被ばく事実としては、1 年間で 5 mSv 以上が確認された場合である。

8 | 撮影装置の管理

A | 撮影装置の保守管理

Q58：血管撮影装置の品質を維持するために、ユーザーが留意することを教えてください。

A：患者に照射する X 線量を一定に保つため、管電圧や管電流の安定性を維持する必要がある。線質の変化は患者の皮膚障害発生に影響し、照射野は患者と術者の被ばく線量に大きく関係する。血管撮影装置の安全性確保、

性能・品質維持のためには自主点検だけでなく、メーカーによる定期的な保守点検を実施することが重要である。特に II は、経時的に輝度が低下するため、そのまま使用し続けると自動露出機構により線量が調整され、患者の被ばく線量が増加する。図 19 における線量格差は装置固有の要因もあるが、点検時の線量調整実施の有無も影響していると考えられる。定期点検の際には II の輝度を測定し、アイリス等の調整を行い、線量増加を防止することが重要である。

なお、調整できる範囲を超えて輝度が低下すると、患者に照射する線量を増加せざるを得ない状況になるため、II の交換を検討する必要がある。

（社）日本画像医療システム工業会は、次の 2 点を II 交換時期の目安としている。

- (1) 調整しても据付時の基準条件を維持できなくなり、被ばく線量が据付当初から 50 % 以上増加した場合。
- (2) 調整により据付当初の X 線条件を維持できるが、診断能が当初よりも明らかに低下して診断に支障が生じた場合。

現在、シネフィルムに画像を記録している施設はほとんどない。また、血管撮影装置は経時的な輝度劣化がほとんどないフラットパネル・ディテクタを搭載したものが主流になりつつある。その結果、自動現像機の管理の必要はなくなり、日常の装置管理は容易になることが予想される。装置に発生したトラブルは、シネフィルムの画像に影響を及ぼすことが多いため、従来管理者はシネフィルムの画像から間接的に装置のトラブルを把握することができた。また、II は輝度劣化が経時的に進行するので、そのことにも注意を払うことができた。しかし、今後フラットパネル・ディテクタを搭載した血管撮影装置の普及とデジタル化が進むと、われわれは日常業務の中で装置の状態を把握する術を失うことになり、今まで以上に日常点検およびメーカーと連携した定期点検を充実させることが重要になる。

【参考文献】 40-44

B | 被ばく低減のための装備

Q59：新しい血管撮影装置には、安全に PCI を施行するための色々な機能が付いていると聞きました。そのような装置を使用すれば患者さんの皮膚障害は起きないのでしょうか。

A：PCI に対応した最近の血管撮影装置は、デジタル化と相まって次のような多くの PCI 支援機能が装備されている。これらの機能を有効に利用することで、患者や

術者の被ばくを低減しつつ円滑な PCI を実施することができる。

- (1) 被ばく低減用低レートパルス透視機能がある。
- (2) 被ばく低減用付加フィルタが装備されている。
- (3) カテーテルやガイドワイヤを円滑に目的部位に誘導するためのマップ画像表示やロードマップ機能が装備されている。
- (4) デジタル画像収集で、画像保管と表示をスムーズに行なう。
- (5) ガイドワイヤやステントの視認性がよいデジタル透視が装備されている。

しかし、これらの機能は、被ばく低減の要素が含まれているということであって、皮膚障害防止を確認するものではない。使用方法を誤ると、想定以上の高線量率の X 線を照射するおそれがある。使用者はこれらの性能を正確に把握した上で使用することが重要である。

【参考文献】 9

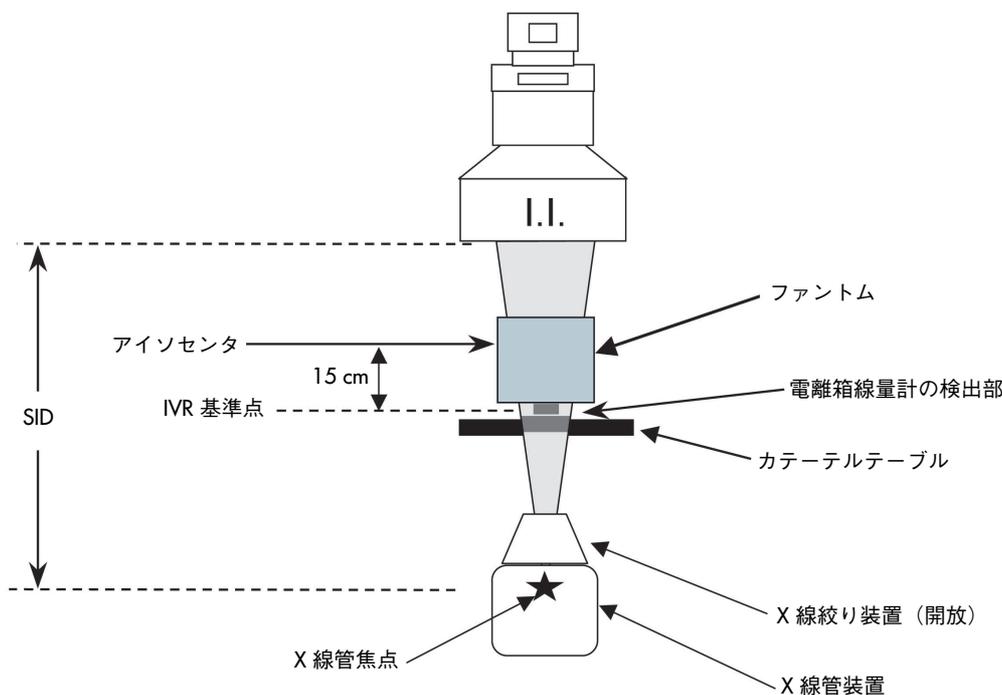
C | 基準線量とインターベンショナル基準点

Q60：基準線量とはどのような線量ですか。また、インターベンショナル基準点とはどのようなものですか。また、その利用方法を教えてください。

A：患者の X 線皮膚入射面における線量を把握することが、皮膚障害防止のための重要なポイントである。しかし、患者の皮膚吸収線量を検査中に直接測定できるとは限らないため、何らかの方法を考案しなくてはならない。また、日常点検における装置管理のための測定も必要である。それらの方法を基準化するため、IEC（下註）では IVR に使用する X 線装置における患者の皮膚吸収線量を評価するための測定位置として、インターベンショナル基準点（Interventional Reference Point）を規定している。具体的には、アイソセンタ（アームの回転中心）から X 線管焦点方向に 15cm 近づいた基準軸上の点である（図 33）。この点における線量を把握することにより、患者の皮膚入射線量を間接的に把握することと、普遍的な装置管理が可能となる。また、同一測定法を用いることで、自施設の経時的な線量の変化を把握できるとともに、施設間の線量や装置出力の比較も可能になる。その結果、許容範囲を超えて他施設より高い線量率の照射を抑制することが期待できる。なお、この基準線量は、施設で日常的に使用している条件で測定するため、イメージサイズや透視のパルスレート、付加フィルタの厚みや材質をあらかじめ確認しておく必要がある。

（註）IEC：国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission）の略号で、電気・電子

図 33 インターベンショナル基準点



の分野における標準化のための世界的組織である。各国の国内電気標準会議 (IEC 国内委員会) から構成されている。インターベンショナル基準点は、IEC の第 62 専門委員会「診断用画像装置」が作成した IEC60601-2-43 (Particular requirements for the safety of X-ray equipment for interventional procedures: インターベンショナルプロセジャー用 X 線装置の安全に関する個別要求事項) に規定されている。

【参考文献】 9, 29, 45

9 患者の被ばく線量測定法

A 線量測定の注意点

Q61: PCI における患者さんの受ける線量を測定する場合の注意点を教えてください。

A: PCI における患者の線量測定法を検討するにあたっての留意点を以下に記す。

- (1) 方法が簡単である。
- (2) 皮膚障害を防止するために必要な測定精度がある。
- (3) 皮膚面での最大線量を測定できる。
- (4) リアルタイムで測定できる。
- (5) 患者に苦痛を与えない。

- (6) 手技を妨げない。
- (7) 障害陰影とならない。
- (8) 清潔な環境を保つことができる。
- (9) 安価である。

放射線の人体への影響には確率的影響と確定的影響があるが、PCI では確定的影響 (皮膚障害) の防止が主な目的となる。皮膚障害を防止するためには、最大線量が照射される部位とその線量の把握が重要である。

【参考文献】 9, 29

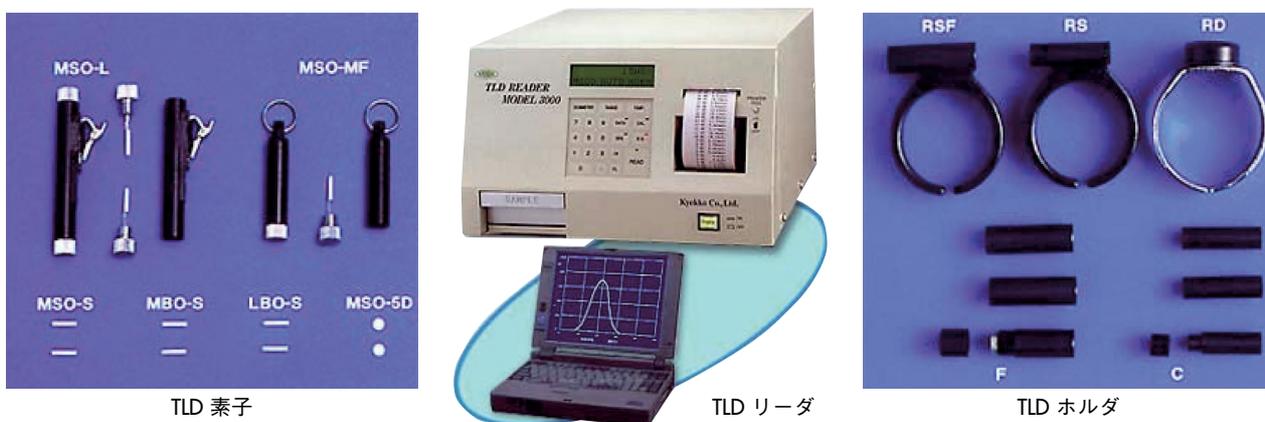
B 線量計の種類

Q62: 患者さんの被ばく線量測定に使用する線量計にはどのようなものがあるか教えてください。

A: PCI における患者の被ばく線量を測定するものとして、電離箱線量計、半導体検出器、蛍光ガラス線量計 (fluorescent glass dosimeter: FGD)、光刺激蛍光線量計 (optically stimulated luminescence dosimeter: OSL)、熱ルミネセンス線量計 (thermo luminescence dosimeter: TLD、図 34)、面積線量計 (Dose Area Product Meter: DAP、図 35)、スキンドースモニター (skin dose monitor: SDM、図 36)、IVR インジケータ (RadiMap[®]、図 37)、線量測定用フィルム (図 38)、などがある。

一方、これらの線量計を使用しないで照射条件や装置の規格から線量を推定する方法として、NDD 法

図 34 熱ルミネセンス線量計 (thermoluminescence dosimeter : TLD)



(Numerical Dose Determination), 患者照射線量管理ネットワーク (Patient Exposure Management Network : PEMNET®, 図 39) などがある。また、面積線量計の値から推定する方法としてケアグラフ® (図 40) があったが、現在は製造されていない。

このように、患者の線量測定にはいろいろな方法があるため、それぞれの施設の実状に合った方法での測定が推奨される。

【参考文献】 9, 29

C | 面積線量計

Q63 : 面積線量計 (DAP) で表示される線量と、実際の患者さんの被ばく線量の関係について教えてください。

A : 面積線量 ($\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$) とは患者の皮膚面において、患者が存在しないと仮定した (つまり患者身体からの散乱を加味しない) 空気カーマ (Gy) の照射野内積分 (cm^2) で定義される量であり、その単位は $\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$ である。この量を測る線量計が面積線量計 (DAP) として市販されている。DAP は血管撮影装置の可動絞り器内に取り付け、検査を妨げることなく患者に非接触で測定できる線量計である (図 35)。患者の皮膚吸収線量を推計するには、照射野サイズと散乱の影響を補正する必要がある。また、X 線管から放出されたすべての X 線量を反映するため、最大被ばく部位の位置とその線量を把握するには工夫を要する。しかし、最近の装置は照射の幾何学的条件のログが活用可能になりつつあり、面積線量計の簡便性とリアルタイムでモニターできる点は活用価値が高いと考えられ、近年その応用利用の研究が続けられている。

【参考文献】 29, 46—48

D | スキンドースモニター

Q64 : 患者さんの受ける線量を測定するためスキンドースモニター (SDM) を購入しました。有効な使用方法を教えてください。

A : SDM (図 36) は患者の皮膚に装着して簡便に皮膚吸収線量を推計する線量計で、PCI 時に最大被ばく部位に装着して使用するものである。センサーケーブルは光ファイバーを使用しているため、折らないよう注意して使用する必要がある。取り扱い説明書には、あらかじめ最も線量の高い部位を予測して貼り付けることを推奨しており、間違った部位に装着して得た線量は過小評価になる。センサー部分は X 線透過性で、障害陰影にならないのが本器の特長であるが、実際は透視で確認することが可能なため、PCI では治療で使用する X 線入射方向を決定してから、透視下で位置を確認しながら装着する事が推奨される。

最近、光ファイバーの原材料が入手困難のため、スキンドースモニターの製造が中止された。患者の被ばく線量を把握する上で非常に有効な測定器であるため、今後同様の測定器の開発が望まれる。

【参考文献】 49

E | RadiMap®

Q65 : RadiMap® について教えてください。

A : IVR インジケータ (RadiMap® : 日油技研工業株式会社製、図 37) は、PCI 時における患者への X 線照射部位や線量の推定を、インジケータの変色によって目視で簡便に行なうことができる管理ツールである。現在、胸腹部用としてベストタイプ、頭部用としてキャップタイ

図 35 面積線量計 (Dose Area Product Meter : DAP)

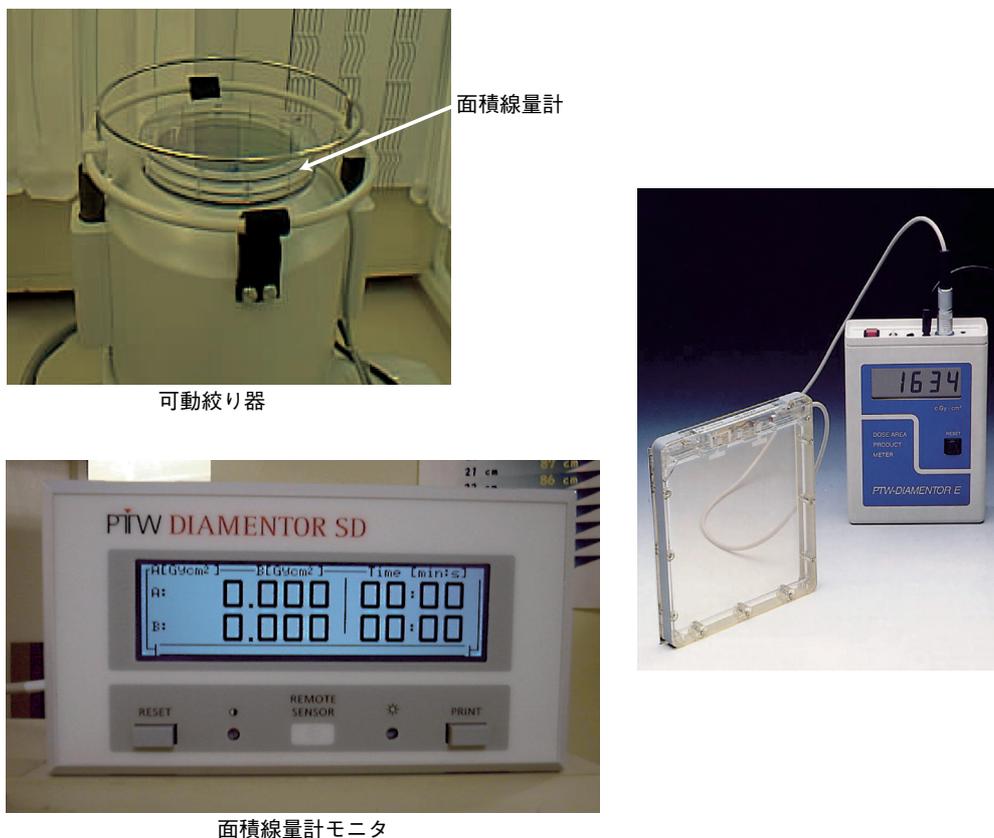
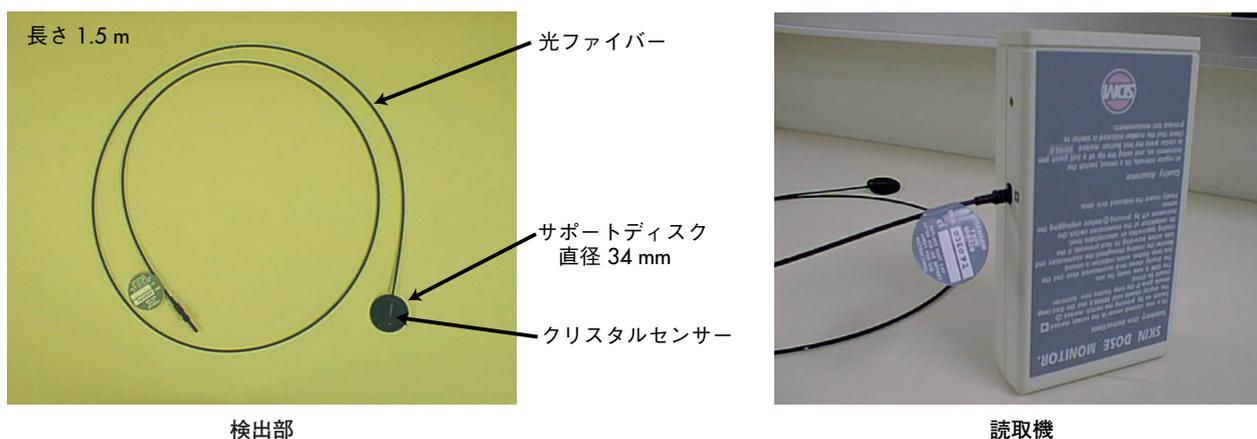


図 36 スキンドースモニター (skin dose monitor : SDM)

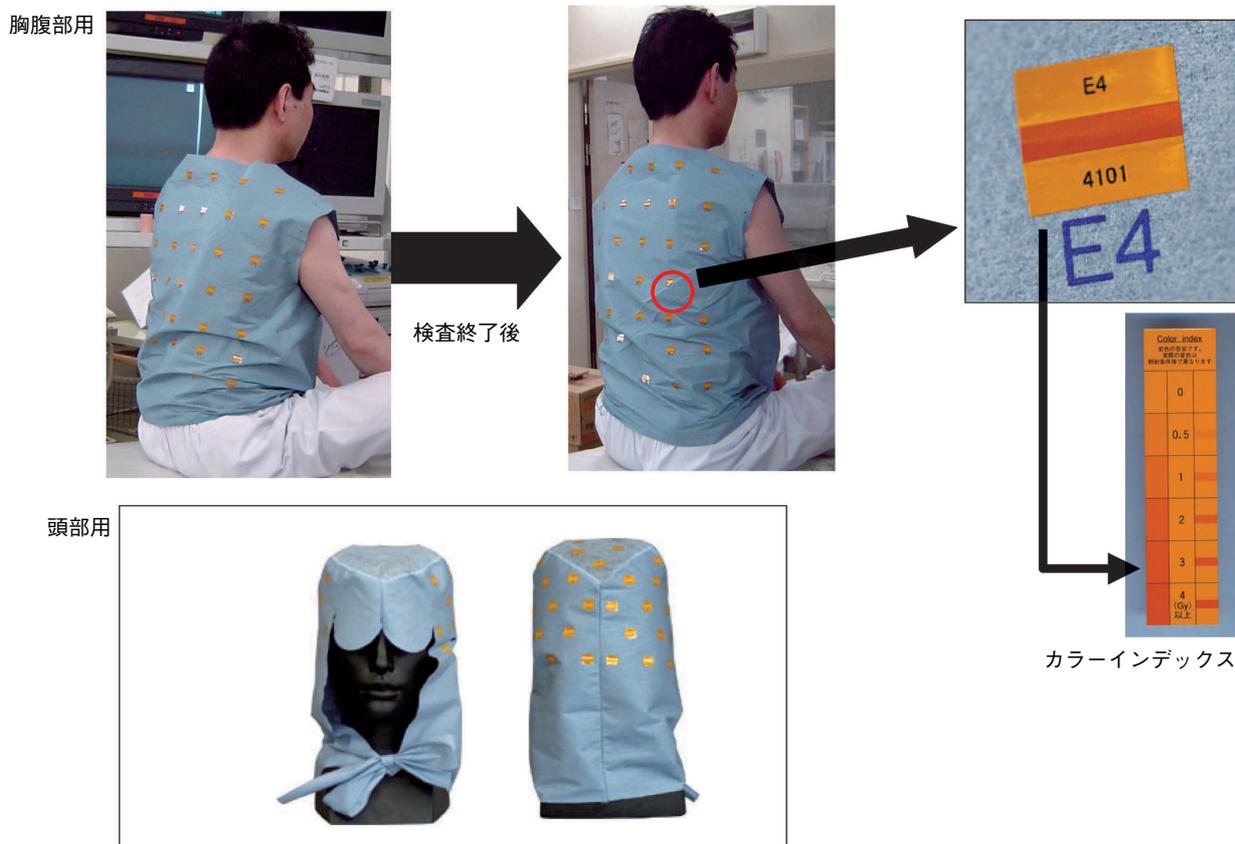


が販売されている。電源設備や現像処理が不要なので、手技の終了後直ちに、最大線量照射部位の確認と、カラーインデックスとの比較により線量の推計ができる。目視で半定量するために精度には限界があるが、放射線皮膚障害発生の可能性を判別するには十分である。なお定

量性は、色差計 (カラーインデックス) とデンシトメータを用いると高めることができる。

【参考文献】 50, 51

図 37 RadiMap



F | 最大線量入射位置

Q66：患者さんの最大線量入射位置を把握する方法を教えてください。

A：半切サイズ程度の X 線撮影用フィルムを遮光して検査中患者の背中に敷き、検査後現像処理すれば最大線量入射位置を把握することができる。さらに、線量測定用

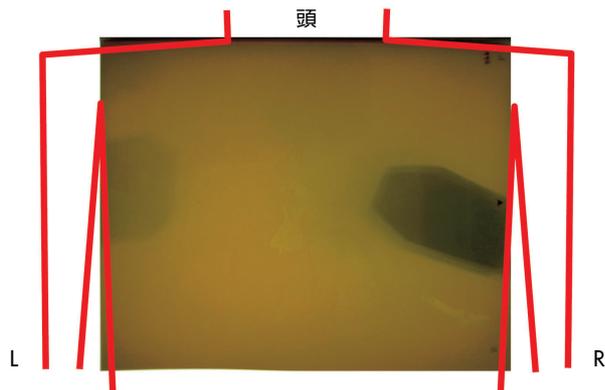
フィルムを使用すれば、最大線量も特定できる。図 38 は ISP 社製 Gafchromic XR Type R Radiochromic Dosimetry Film で、10 Gy を超える高線量の測定が可能であり、現像の必要がない。最近の心カテ室には自動現像機を有しない施設が多いので、その点でも優れている。

IVR インジケータ (RadiMap®, 図 37) も最大線量入射位置を把握するのに有効な測定用具である。RadiMap は検査終了時におおよその線量を把握し、経過観察の必要性の有無を判別できる点が大きな利点である。

【参考文献】 9, 29, 52-54

図 38 線量測定用フィルム

ISP 社製 Gafchromic XR Type R Radiochromic Dosimetry Film の使用例



G | Numerical Dose Determination (NDD) 法

Q67：NDD 法について教えてください。

A：NDD 法とは、測定器を使用せずに患者の受ける線量を推定する方法である。特別な機器を必要としないため、X 線装置の品質が管理されていれば、どの施設でも使用することが可能である。NDD 法を簡便に利用するためのツールとして、茨城県放射線技師会ホームページ <http://www.sunshine.ne.jp/~iart/frame.htm> や、全国循環器撮影研究会のホームページ [1290 Circulation Journal Vol. 70, Suppl. IV, 2006](http://plaza.umin.ac.jp/~zen-</p>
</div>
<div data-bbox=)

jun/ で公開している Windows 上のアプリケーションがある。

線量を計算するには、透視撮影時の諸条件（管電圧、管電流、付加フィルタ、X線管焦点-皮膚間距離など）が必要となる。血管撮影装置は自動露出なので、照射条件が絶えず変動するとともに、自動的に付加フィルタの厚みや透視のパルス幅が変更されるものがあるため、正確な条件を取得するには労力を要する。しかし、最近の血管撮影装置はコンピュータ管理されており、照射条件や幾何学的位置は装置に記憶されている。このため、必要な情報を自動的に取得できるシステムが構築できれば、NDD法は有用な方法となる。

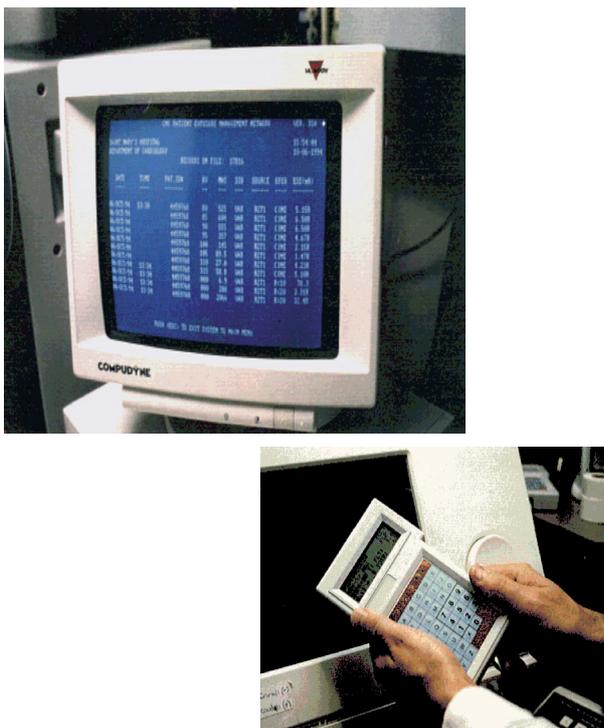
【参考文献】55

H PEMNET®とケアグラフ®

Q68：PEMNET®とケアグラフ®について教えてください。

A：患者照射線量管理ネットワーク PEMNET®（図 39）は、検査中の患者への照射線量を計算し、リアルタイムにモニターして記録するシステムである。空中における照射線量の実測値とその時の透視や撮影の条件から近似式をシステム内に作成し、透視・撮影条件を一定時間間隔で取得し、リアルタイムに線量率または積算線量を計算し表示する。その表示値はテーブル表面位置での照射線量である。さらにサーバーに転送後、総線量を透視と

図 39 PEMNET



撮影を区別して表示する機能もある。患者の個人データを含めたデータベースを自動的に作成し、各患者の累積照射線量や、特定条件での検索ができることが特徴である。また、ネットワークに対応しているため、施設内のLANを介してアクセスすることができる。

ケアグラフ®は、SIEMENS社が開発した装置固有の線量推定システムである（図 40）。面積線量計の読み値、IIサイズ、アームの角度、絞りの大きさ、およびテーブルの位置から、患者の皮膚面における照射位置、照射野サイズ、およびその線量を計算して表示するものである。これは既存のものとしては理想的なシステムであるが、残念ながら現在は製造が中止されており、同様の装置の開発が待たれる。

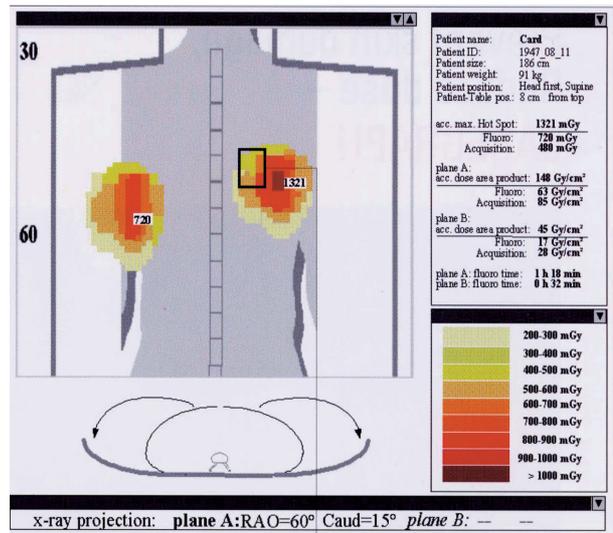
【参考文献】9, 29

I 患者の被ばく線量測定機関

Q69：患者さんの線量測定をサービスする測定機関などがあれば教えてください。

A：患者の被ばく線量測定に、蛍光ガラス線量計（FGD）と光刺激蛍光線量計（OSL）などの放射線医療従事者の被ばく測定用の線量計が利用できるので、これらの個人被ばく測定サービス機関に問い合わせるとよい。なお、最近、患者の被ばく線量を把握するために、線量計とファントムを使用して装置の出力線量を測定するサービスが検討されている。

図 40 ケアグラフのプリントアウトデータ



10 冠動脈以外へのインターベンション

A 頭頸部 IVR 施行時の注意点

Q70：内頸動脈ステントングなど、頭頸部の IVR 施行時に注意することを教えてください。

A：心臓などの体幹部と異なり、頭部は毛髪がある。3Gy を超えると一過性脱毛の可能性がある。一過性であっても脱毛は患者に与える精神的な影響が大きいので、頭部の同一部位への長時間にわたる照射はできるだけ避けるように心がけるべきである。また、直接 X 線が患者の眼に照射される場合には、白内障を誘発することがあるため、遮蔽や照射角度を検討する必要がある。ICRP Publ.85 によれば、1 回の被ばくによる白内障のしきい線量は 2 Gy で、5 Gy 以上浴びると進行性的な変化をきたすと示唆されている。Publ.60 では、視力障害を伴わない水晶体の混濁は 0.2 Gy 以下の被ばくによっても生じるとされているので、水晶体への長時間の照射はできる限り避けなければならない。

【参考文献】4

B 経皮的下肢動脈形成術（PTA）施行時の注意点

Q71：下肢 PTA 施行時に注意することを教えてください。

A：閉塞性動脈硬化症（ASO）には PTA が非常に有効な治療手段であり、わが国においても件数が増えている。虚血性心疾患の患者は ASO を合併することが多いため、心臓内科医がその治療に当たる機会が増加している。患側ないしは反対側の大腿動脈、または上肢の動脈を穿刺して治療を行うが、穿刺部位と治療部位が近いため、術者が比較的大量の散乱 X 線に曝されることになる。また、大口徑 II を使用することが多いので、小口径 II 使用時よりも散乱 X 線が多くなる。照射野を必要最小限に絞ることと、適切な II サイズを使用することが重要である。

この手技では、PCI のように X 線入射方向を斜位にすることは少なく、P-A で実施することが多いので、装置や検査室に備え付けてある防護ラバーシールドや防護アクリルガラスが有効である（図 29A）。これらの防護用具を駆使した放射線防護が推奨される。

【参考文献】9, 21, 34

11 電気生理学的検査・治療

A カテーテル・アブレーションを受ける患者の被ばく線量

Q72：カテーテル・アブレーションやペースメーカー植え込みなどの電気生理学的検査・治療時の放射線被ばくが、PCI のそれと異なる特徴はなんですか。また、防護上特別な注意点はありますか。

A：電気生理学的検査・治療では主に透視が使用され、撮影はほとんど行われず。また、ガイドワイヤよりも X 線透過性が低いカテーテル電極を使用するため、透視のパルスレートを低下させて手技を行うことが一般的である。これらのことは、PCI と比較すると有利な要素である。しかしながら、カテーテル・アブレーションでは放射線の照射角を固定させて長時間の透視を行うことが多く、同じ部位に連続的に照射が行われる可能性が高い。とくに左前斜位での長時間の照射が行われた場合には、右肩甲骨下、右上肢に集中的に被ばくする可能性があり、注意を要する。

Q73：カテーテル・アブレーションにおいて、右肩甲骨下と右上肢の皮膚障害の事例が多いのはどうしてですか。

A：カテーテル・アブレーションでは、放射線の照射角を固定させて長時間の透視を行う場合が多く、特定の皮膚部位に被ばくが集中する可能性がある。とくに左前斜位での長時間の照射が行われた場合には、左前斜位では脊柱や縦隔を透過して心臓を観察するため、被ばく線量が他の透視角度よりも高い（Q9, 図 6 参照）。また、右上肢が透視野に入った場合、透過性の低下を透視装置が自動的に補正して照射線量が増加する上、X 線管と右上肢皮膚間の距離が短くなるため、右上肢皮膚の被ばく線量が非常に高くなる（Q30, 図 22 参照）。このため、右肩甲骨下と右上肢の皮膚障害の事例が多い。したがって、低レートパルスの透視を使用し、上腕を挙上し体幹部から離すなど、可能な限り照射野から上腕をはずす努力をするべきである。

B 小児症例における注意点

Q74：小児症例における注意点はなんですか。長時間の上肢の挙上で麻痺が生じることがあると聞きましたが、有効な予防法はありますか。

A：小児症例を全身麻酔下でカテーテル検査・インターベンションを行う場合には、しばしばパイプラインの正・側透視が使用されるが、側面透視の視野を確保する

ために、上肢を挙上して固定をすることがある。この際に注意すべきことは、長時間の固定により腕神経叢や上腕神経、尺骨神経などの損傷をひき起こし、手掌の小指側、肩関節または肘関節以下の麻痺や知覚鈍麻が生じることがある。これは、不適切な固定法などにより肘の部分が腕の重さで外転し尺骨神経が過伸展されたり、腋窩部の過伸展により腕神経全体の障害を生じるためと考えられている。運動麻痺や知覚鈍麻などの症状の多くは一過性であるが、回復に6ヶ月以上かかることもある。これを予防するためには、一定の肢位に固定をしないこと、やむを得ず固定しなければならぬ時には、30-60分間隔で固定を緩め上肢を内転させて一次的に神経の圧迫を解除させることが推奨される。

12 核医学検査

A | タリウム心筋シンチグラフィと同日ないし翌日にPCIを施行する場合の注意点

Q75: 心筋 viability の評価として Tl-201 を使用した場合に、Tl-201 投与日や翌日に心臓カテーテル検査を行う場合の注意点を教えて下さい。患者さんの血液、カテーテル器具の放射性医薬品による汚染はどのように考えるべきでしょうか。

A: 核医学検査で患者に投与する放射性医薬品は少量なので、一般的には、放射性医薬品を投与された患者に、同日ないし翌日に心臓カテーテル検査を実施しても、術者やその他のスタッフの被ばくには問題ない。しかし、患者の血液にはごくわずかであっても、放射性医薬品が残っているため、心臓カテーテル検査に使用した注射針やカテーテルなどは汚染されている可能性がある。したがって、放射能汚染の程度が測定器で検出されないレベルになるまで保管し、感染性廃棄物として廃棄する必要がある。また、放射性医薬品は尿中に多く排泄されるため、患者の尿は血液以上に取扱いに注意しなければならない。核医学検査を実施した患者の蓄尿バッグや使用済みのオムツも、カテーテルや注射針と同様の扱いをする必要がある。

B | タリウム心筋シンチグラフィ検査従事者の被ばく

Q76: タリウム心筋シンチグラフィの核種の静注を担当していますが、手指や体幹部への被ばくはどの程度でしょうか。また、被ばく低減の方法はあるのでしょうか。

A: 日本核医学技術学会の1995年調査によると、核医学に従事している診療放射線技師の体幹部における被ば

く線量は75%以上が0.2 mSv/月以下であるが、手指の被ばく線量は0.5 mSv/月を超える施設が30%もある。最近の放射性医薬品は、タングステンと鉛ガラスでシールドされているシリンジタイプで供給されるものが増え、以前よりは従事者の被ばく低減が考慮されているが、注射針側とプランジャー側の遮蔽はされていない。プランジャー側のプラスチックは遮蔽効果が少なく、タングステンプランジャーを使用した場合でも、漏洩率より逆算した遮蔽効果はTc-99mでは約75%であった。シールドされたシリンジタイプの取り扱いも、手際の良い作業が被ばく低減の有効な方法である。

【参考文献】56

C | 放射性医薬品が皮下漏出した場合の注意点

Q77: 心筋シンチグラフィの際、放射性医薬品を患者さんの皮下に注入してしまいました。対応方法を教えてください。

A: 静注時の皮下漏出は、臨床において特異な事例ではない。放射性医薬品の皮下漏出が限局している場合は、限局した組織に高吸収線量を与える可能性があるため、半減期の短い放射性医薬品だからと安易に考えてはいけない。本邦における報告では、心筋シンチグラフィ施行時にTl-201が皮下血管外漏出し、ただちに処置したにもかかわらず、2週間後に同部位に皮膚壊死、3ヶ月後に潰瘍の瘢痕上皮化、4年後に強い瘢痕・色素脱失・皮膚萎縮・血管拡張・周囲色素沈着を来とし、慢性放射線皮膚炎と診断された症例がある。検査の過程で放射性医薬品の漏出を認めた場合は、速やかに漏出部位を撮像し、何らかの線量情報を得るなど、予想最大皮膚吸収線量を概算し、当該患者の経時的な観察を行うことが肝要であると考えられる。

【参考文献】57, 58

D | 小児に対する核医学検査

Q78: 虚血性心疾患を疑う小児例（川崎病の経過観察、先天性冠動脈奇形など）に対して心臓核医学検査を行う場合の、適応や被ばくの影響はどのように考えるべきでしょうか。

A: 虚血性心疾患を疑う小児例に対する核医学検査の適応は、

- (1) 心筋虚血の有無の診断: 原因疾患には、川崎病の冠動脈後遺症、冠動脈瘻・起始異常など先天性奇形、Jatene術後などがある。
- (2) 心筋障害・梗塞の診断: 先天性心疾患や神経筋疾患で心筋障害が疑われる場合や、心内修復術に伴う周

術期心筋梗塞が疑われる場合、先天性冠動脈奇形の術前に心筋 viability の評価を行う場合に行われる。

- (3) 心機能の評価：先天性心疾患のため心エコー検査に限界がある場合に行われ、心拡大が無ければ 10 歳以上が適応となる。小児では心臓自体が小さいため、画像分解能が成人用になっている場合は、概ね 6 歳以降でないと明確な診断は難しい。このため、成人と同等の大きさになってから検査が行われることが多い。

13 CT 検査

A 冠動脈 CT 検査を受ける患者の被ばく線量

Q79：最近、多列検出器コンピューター・トモグラフィ (MDCT) で冠動脈病変を評価する機会が増えていますが、平均的な被ばく線量はどれくらいなのでしょう。また、CAG との比較ではどうでしょうか。

A：冠動脈 CT の一般的な撮像プロトコルを示す。

- (1) スキャノグラフィ撮影：大まかな撮像範囲を得る
- (2) 位置決め用単純スキャン：造影時のスキャン範囲を決める
- (3) 造影スキャンのタイミングを図るためのスキャン (リアルプレップ)：造影剤を 3~4 ml/s の速度で静脈注入した後、同一位置でスキャンを繰り返し、上行大動脈もしくは心腔内に設定した ROI の CT 値を観察しながら、造影ヘリカルスキャンのスタートタ

イミングを図る

- (4) 心電図同時記録造影ヘリカルスキャン：心電図を同時に記録する心同期造影ヘリカルスキャンを行う。このようなプロトコルで撮像されたファントム内の線量を図 41A に示す。撮像条件は以下の通りである。

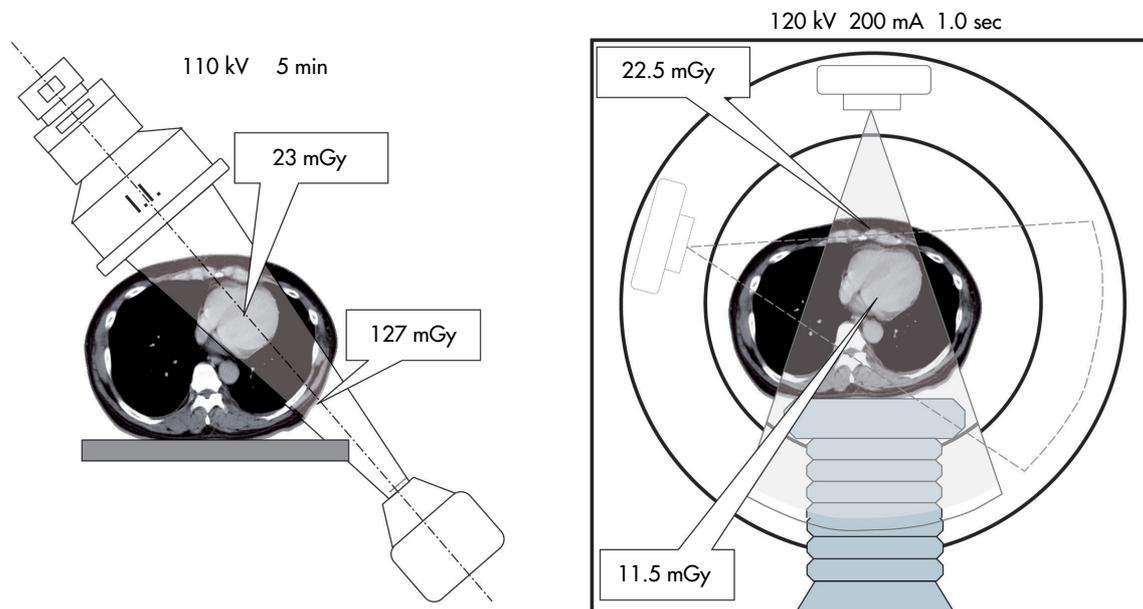
- (1) スキャノグラフィ 120 kV 10 mA
- (2) 位置決めスキャン 135 kV 300 mA ピッチ 1.0
- (3) プレップスキャン 135 kV 50 mA
- (4) 造影ヘリカルスキャン 135 kV 450 mA ピッチ 0.19

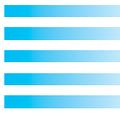
一般的な胸部 CT で患者の受ける線量と比較して、冠動脈 CT の線量は大きい。一般的な診断目的の冠動脈造影検査における最大皮膚入射線量は数 100 mGy であるが、冠動脈 CT も同程度の線量を被ばくする。冠動脈 CT では高解像度の 3D 画像を得るため、出来るだけ薄いスライス厚 (0.5 mm) の選択と、多時相の画像を得るため小さいヘリカルピッチ (HP) の選択が必要である。図 41B にファントムにフィルムを巻き付け、3種類のピッチによるスキャンの軌跡を観察したものを示す。HP が小さいほど密な画像が得られる反面、線量が大きくなっている。冠動脈 CT で患者の受ける線量が大きくなるのはそのためである。なお、CTDIvol とは CT 線量評価の指標である。

次いで、図 41C に CT の線量分布を示す。CAG では X 線入射皮膚面の線量が最も高いが、CT では体幹部を全周的に照射するので、体中心でも皮膚表面とあまり変わらない線量になる。このため、最大線量が同じであれ

図 41A 冠動脈透視と冠動脈 CT における患者の被ばく線量の比較

(血管撮影に関する資料提供：金沢大学)





ば、皮膚面に限局する CAG よりも撮像された部位全体に似かよった線量が照射される CT の方が実効線量としては多くなり、発がんのリスクは高くなると考えられる。しかし、その違いに臨床的な意義があるかどうかは必ずしも明確ではない。

【参考文献】 58-61

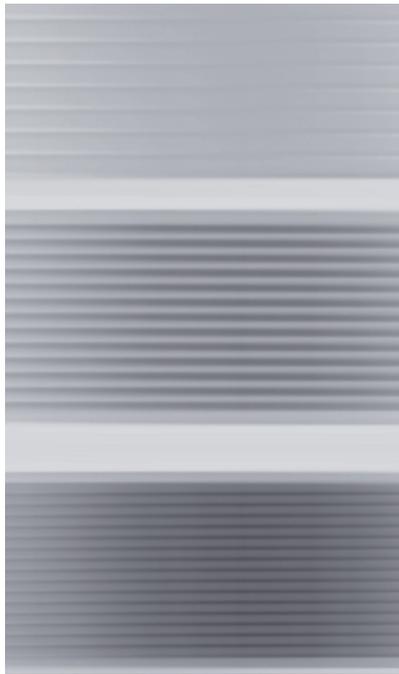
図 41B ファントムに巻き付けたフィルムによる画像

図中濃度が濃いほど高線量であることを示す
(管電圧 120 kV, 10 mA, 0.4 s/回転, スライス厚 5 mm)

HP = 1.438
(CTDIvol : 0.4 mGy)

HP = 0.938
(CTDIvol : 0.7 mGy)

HP = 0.688
(CTDIvol : 0.9 mGy)



Q80 : 冠動脈造影検査と同様に、CT でも体格の違いによって被ばく線量は異なりますか。また、それは臨床的には問題になる程度でしょうか。

A : 同じ条件で CT を撮像した場合、体格の小さい方が被ばく線量は大きくなる。図 42 は直径 16 cm と 32 cm のファントムを同一照射条件で撮像したときの、ファントム中心部および周辺部の線量を比較したものである。診断領域の X 線は患者の身体をほとんど透過せずそのエネルギーの多くを失うため、同一条件で照射すると体重が小さい方が平均吸収線量は大きくなる。また、体格の小さい方が周辺部と中心部の線量の差が小さくなり、ファントムのどの位置でも高線量となるため、体格に応じた照射条件を選択し撮像する必要がある。特に、小児を検査する時は、管電流を下げるなど過剰照射にならないような対応が必要である。近年、普及しつつあるスカウト画像から撮像部位に応じて自動的に照射条件を調整する自動照射制御機能は、画質を落とすことなく適正な線量で撮像する手助けとなるであろう。

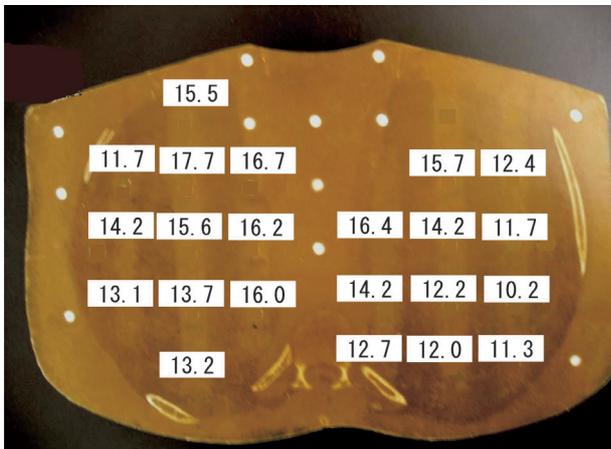
B | 検出器の多列化の影響

Q81 : MDCT の検出器の数が増えると患者さんの被ばく線量は多くなるのでしょうか。また、通常の大血管 CT との被ばく線量の違いはどのくらいでしょうか

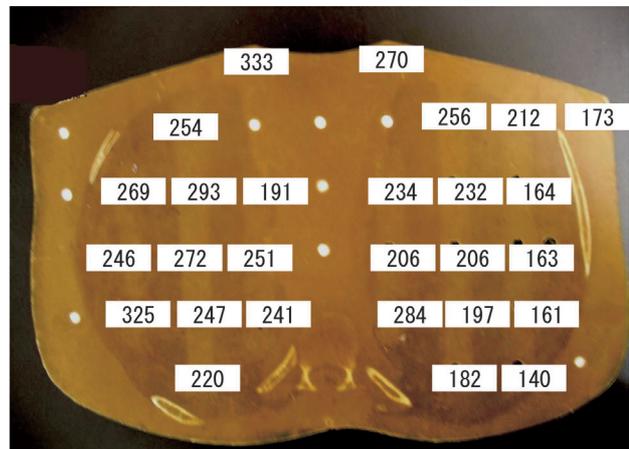
A : 基本的にスライス厚と移動ピッチが同じであれば、検出器の列数の多少に関係なく患者の受ける線量は一定となる。また、通常の CT と比べてもその差はない。ただし、MDCT では良好な 3D 画像を得るためにスライス間でオーバーラップさせて画像を収集することがある。

図 41C 胸部単純 CT と冠動脈 CT による患者の受ける線量の比較

(資料提供 : 藤田保健衛生大学)



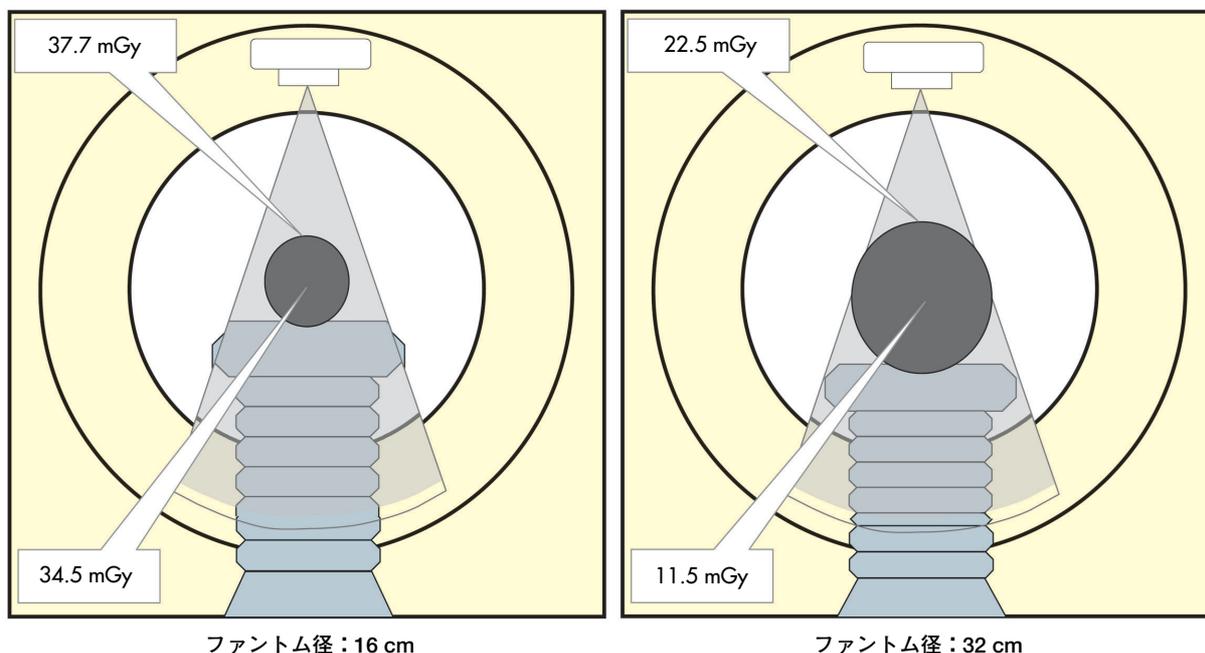
胸部 CT



冠動脈 CT

単位 : mGy

図 42 冠動脈 CT における体格の異なる患者の被ばく線量の比較
照射条件：120 kV 200 mA 1.0 sec



その場合スキャンが重複する部分の線量は多くなる。

【参考文献】60, 61

C 頻回の CT 検査の影響

Q82：冠動脈疾患の診断や、胸・腹部大動脈瘤の経過観察手段として MDCT が用いられることが増えていますが、反復する CT 検査にともなう被ばくに関してはどのように考えるべきでしょうか。

A：MDCT は非観血的検査としての利点を活かして、冠動脈疾患の診断や経過観察、胸・腹部大動脈瘤の経過観察の手段として需要が増えると予想される。検査の適応決定や、経過観察期間・間隔の決定においては、患者の被ばく線量の大小だけでなく、診療上の必要性がより重要である。必要と判断された場合、患者の診断目的を達成しうる画質を得る一方で、QOL に影響を及ぼさないように線量を低減する必要がある。患者に必要な放射線診療は、線量を吟味しつつ診断に供する画像を取得することが肝要である。

D ペースメーカー・植え込み型除細動器 (ICD) への影響

Q83：ペースメーカーや ICD を植え込んだ患者さんに CT 検査を行う場合の注意点はなんですか

A：最近複数の施設から、ペースメーカー (PM) や ICD を植え込んだ患者に CT 検査を行った際に、部分的リセットが発生したとの報告があった。その原因は、心

臓の電気的興奮を増幅する C-MOS 回路に X 線が照射されることによって光電効果を起こし、不要電流が発生したためと考えられる。その結果、PM ではオーバーセンシングによってペーシングパルス出力が一時的に抑制され、心拍停止状態となる可能性がある。また、ICD ではオーバーセンシングによって除細動器が誤作動する可能性がある。

これらの機器を植え込まれた患者に、CT や比較的多量の放射線照射を行う場合は、以下の事項に留意する。

(1) PM への対策・措置方法

- ・本体植え込み部位に X 線を 5 秒以上照射しない。
- ・やむを得ず本体植え込み部位に X 線束を 5 秒以上連続して照射する場合には、患者の両腕を挙上させるなどして、照射部位を PM からできるだけ離す工夫をする。
- ・5 秒以上の照射が避けられない場合には、競合ペーシングをしない状態で固定ペーシングモードに設定し検査を行うか、一時的に体外ペーシングの準備を行いトラブルに備える。

(2) ICD への対策・措置方法

- ・本体植え込み部位に X 線を照射しない
- ・やむを得ず、本体植え込み部位に X 線を照射する場合には、患者の両腕を挙上させるなどして、照射部位を ICD からできるだけ離す工夫をする。

・照射が避けられない場合には、頻拍検出機能をオフにした後、検査を実施する

・一時的体外除細動器や一時的体外ペースングの準備を行い、検査を実施する

なお、いずれの場合にも、リセットの解除等を迅速に行える専門医などが立ち会うとともに、心電図モニターを装着し脈拍を確認することが必須である。

【参考文献】 62

14 妊娠患者に対する検査・治療

Q84：妊娠中期以降の妊婦に対するカテーテル検査の留意点はなんですか

A：妊娠中の患者に放射線を照射することはできるだけ避けるべきであるが、母体の健康は胎児の利益につながるため、必要な検査は以下の事項に留意しながら実施すべきである。なお、その際には患者に対して、胎児への影響など十分なインフォームド・コンセントを取り、胎児の受ける線量を100mGy以下に制限することが重要である。照射野が胎児を直接照射する下腹部である場合や、骨盤のカテーテル検査が必要な場合では、検査の必要性の再確認や、妊娠終了まで延期することが可能かどうかを検討する必要がある。胎児の受ける線量が100mGyを大きく超えることが予想される検査では、放射線を使用しない検査法の検討も必要である。

胎児の受ける線量を低くするため、以下の事項に留意する。

- (1) 妊婦の胸部、上肢、頭部などのように、胎児から離れた部位の検査では、胎児にX線を直接照射しないカテーテル挿入部位（肘動脈、橈骨動脈など）を選択する。
- (2) 一般的な被ばく低減技術（低レートパルス透視、照射野制限、付加フィルタの使用、IIを近づけるなど）

を厳格に実行する。

- (3) 胎児の受ける線量を評価する。

【参考文献】 63

15 海外における放射線防護の現状

Q85：海外と日本において実際の被ばく線量の違いはありますか。また、放射線防護の規制に違いはありますか
A：PCIによって患者の受ける線量は、IIの感度などの装置の状態、患者の体格、検査を実施する施設が扱う症例の難易度や手技内容によって異なる。現在、欧米や日本で使用している装置の性能には大きな差がないので、患者の受ける線量は体格と症例の難易度、手技内容により決まる。わが国をはじめ多くの国では、患者が医療行為によって受ける被ばく線量に制限を設けていないが、それぞれの国や関係する機関では診断参考レベルを提示し、安全な検査の実施に務めているのが実情である。

IAEA（国際原子力機関）は透視検査におけるガイドンスレベルとして、2種類の入射表面線量率（通常透視：25 mGy/min、高線量率透視：100 mGy/min）を示している。一方、わが国では、医療法施行規則において以下のように規定している、

——医療法施行規則第30条第2項第1号——

(2) 透視用エックス線装置は、前項に規定するもののほか、次に掲げる障害防止の方法を講じたものでなければならない。

- ① 透視中の患者への入射線量率は、患者の入射面の利用線錐の中心における空気カーマ率が、50 mGy/min以下になるようにすること。ただし、操作者の連続した手動操作のみで作動し、作動中連続した警告音等を発するようにした高線量率透視制御を備えた装置にあっては、125 mGy/min以下になるようにすること。

文 献

- Hirshfeld JW, Jr, Balter S, Brinker JA, et al: Clinical competence statement on physician knowledge to optimize patient safety and image quality in fluoroscopically guided invasive cardiovascular procedures. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/American College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training. *Circulation* 2005; 111: 511-532.
- 医療放射線管理測定マニュアル 2003: 医療放射線防護連絡協議会発行, 2003.
- ICRP publication 60: 国際放射線防護委員会の 1990 年勧告. 日本アイソトープ協会, 1991.
- ICRP Publication 85: IVR における放射線傷害の回避. 日本アイソトープ協会, 2003.
- Koenig TR, Wolff D, Mettler FA, Wagner LK: Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: Part 1, Characteristics of radiation injury. *Am J Radiol* 2001; 177: 3-11.
- 石川牧子, 宋寅傑, 末木博彦, 飯島正文: 心臓カテーテル操作に伴う放射線照射によって生じた慢性放射線皮膚炎の 2 例. *西日皮膚* 1999; 61: 731-736.
- 宋寅傑, 石川牧子, 飯島正文: 心臓カテーテルおよび肝動脈塞栓術の施行後に生じた放射線皮膚炎. *臨皮* 2000; 54: 7-10.
- 宋寅傑: IVR 施行時の X 線照射による放射線皮膚障害の診断と治療. *心血管インターベンション* 2002; 17: 357-360.
- 医療放射線防護連絡協議会: IVR に伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン—Q & A と解説—ブックレット・シリーズ 3, 2004.
- ICRP Publication 41: 電離放射線の非確率的影響. 日本アイソトープ協会, 1984.
- 佐々木康人: 放射線診療における被曝 国際放射線防護委員会 (ICRP) の動向. *日医放会誌* 2002; 62: 343-346.
- 中村仁信: インターベンションにおける放射線障害の防止 ICRP 勧告 (Publ.85) の紹介と防護の実際. *心血管インターベンション* 2004; 17: 131-134.
- 山口和也, 佐藤和彦, 中西省三: IVR における被曝と対策—診療放射線技師の立場から—. *日医放会誌* 2002; 62: 352-355.
- 石口恒男: 放射線診療における被曝 IVR の被ばくとその対策—放射線科医の立場から—. *日医放会誌* 2002; 62: 356-361.
- 日本医学放射線学会放射線防護委員会: IVR に伴う患者および術者の被ばくに関する警告. *日本医学放射線学会雑誌* 1995; 55: 367-368.
- 松本千穂, 市野直樹, 荒木祥子, 他: 経皮的冠動脈形成術 (PTCA) の長時間の X 線透視およびシネ撮影で放射線皮膚障害を生じた 2 例. *皮膚* 1999; 41: 18-24.
- 古賀佑彦: ICRP のドラフトに対する本協議会からのコメント. *医療放射線防護 NEWSLETTER* 2000; 29: 73-74.
- Lichtenstein DA, Klapholz L, Vardy DA, et al: Chronic radiodermatitis following cardiac catheterization. *Arch Dermatol* 1996; 132: 663-667.
- D'incan M, Roger H, Bouedec MCF, Souteyrand P: Radiodermatitis following cardiac catheterization. *Arch Dermatol* 1997; 133: 242-243.
- 齊藤岩男: バルス透視の表示方法. *全国循環器撮影研究会だより* 2002; 5: 20-21.
- 栗井一夫編: 血管撮影領域における放射線被曝と防護. *放射線医療技術学叢書* 1999; 17: 22-25.
- 大石蒼奈, 佐野裕一, 吉田賢一, 他: 重金属フィルタによる患者被曝線量の低減と画質 (コントラスト) の改善. *日放技会誌* 2002; 58: 109-114.
- 田島修, 鍋倉良三, 佐藤久弥, 他: 心臓カテーテル検査における透視線量および被曝低減技術の標準化 (ガイドライン化を目指して). *全国循環器撮影研究会誌* 2004; 16: 18-21.
- 江口陽一, 木下順一, 若松修, 他: フラットパネルディテクタの臨床応用. *日放技会誌* 2003; 59: 29-43.
- 北井孝明, 小川武, 佐野禎彦: フラットパネル・ディジタル・ディテクタ・アンギオシステムによる冠動脈造影の患者被曝線量. *日放技会誌* 2003; 59: 423-426.
- 瀬口繁信, 石川芳信, 水野昌太, 他: フラットパネル搭載心臓血管撮影装置の線量評価. *日放技会誌* 2003; 59: 1438-1443.
- 市田隆雄, 奥迫謙治, 横山貢治, 他: FPD 搭載血管造影装置における臨床画像の検討. *日放技会誌* 2004; 60: 1143-1152.
- Koenig TR, Mettler FA, Wagner LK, et al: Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: Part 2, Review of 73 cases and recommendations for minimizing dose delivered to patient. *Am J Radiol* 2001; 177: 13-20.
- 水谷宏, 梅津芳幸, 江口陽一, 他: IVR における患者被曝線量の測定と防護に関する研究班報告. *日放技会誌* 2003; 59: 369-381.
- 長谷川隆幸, 小泉正之, 古川友: 部位別吸収線量の測定と被曝レベルの設定. *日放技会誌* 2003; 59: 640-649.
- Adams GE, Jameson DG: Time effects in molecular radiation biology. *Radiat Environ Biophys* 1980; 17: 95-113.
- Magae J, Hoshi Y, Furukawa C, et al: Quantitative analysis of biological responses to ionizing radiation, including dose, irradiation time, and dose rate. *Radiat Res* 2003; 160: 543-548.
- 栗井一夫, 水谷宏, 青木雄二, 他: 最近の X 線診断領域における従事者の被曝の問題点と防護衣の在り方検討班報告. *日放技会誌* 1998; 54: 687-696.
- 水谷宏, 小林幸雄, 才田壽一, 他: 血管撮影における標準的な術者防護用具検討班報告. *日放技会誌* 2001; 57: 1469-1478.
- 栗井一夫, 大登邦充, 林田昭彦, 他: IVR (PTCA) 時の空中線量測定班報告. *日放技会誌* 2001; 57: 33-48.
- 足立孝司, 能美晶子, 安岐敏行, 他: 臨床例 内科医の両手指に生じた放射線照射後有棘細胞癌と放射線角化症の多発例. *皮膚病診療* 2004; 26: 747-750.
- 田中英一郎, 高塚純子, 竹之内辰也: 有棘細胞癌 内科医師に生じた手の職業性放射線癌の 1 例. *Skin Cancer* 2005; 19: 336-339.
- 井ノ上信一, 松本光弘, 松澤利絵: X 線防護衣の鉛当量試験における最適線量の検討. *日放技会誌* 2004; 60: 1682-1687.

39. 分科会報告：診断用 X 線防護衣の破損事故に関する報告と管理指針. 日放技会誌 2000; 56: 552-557.
40. 伊藤敏夫, 加藤洋, 北村善明, 他：医用画像部門における品質維持の評価及び日常試験方法-第 2-8 部：不変性試験-X 線防護具類 JIS Z4752-2-8 (IEC 61223-2-8). 日放技会誌 2005; 61: 1104-1105.
41. 幾瀬純一：IEC 規格における受入試験と不変性試験. 日放技会誌 2001; 57: 49-50.
42. 飯野公則：医療機器の「有効使用期間」について. 日放技会誌 2002; 58: 274-279.
43. 篠原文章, 伊藤敏夫, 設楽明：医用画像部門における品質維持の評価および日常試験方法-第 2-5 部 不変性試験-画像表示装置 JIS Z 4752-2001-2-5. 日放技会誌 2000; 58: 631-633.
44. 篠原文章, 安部真治, 宮崎茂：医用画像部門における品質維持の評価及び日常試験方法-第 3-3 部 受入試験-デジタルサブトラクション血管造影 (DSA) 用 X 線装置 JIS Z 4752-3-3 (IEC 61223-3-3). 日放技会誌 2003; 59: 621-624.
45. 坂本肇, 相川良人, 池川博昭, 他：新しく規格化されたインターベンショナル基準点についての考察. 日放技会誌 2004; 60: 520-527.
46. 岩波茂：面積線量計の使い方, 放射線診療における品質管理. 医療科学社 p.53-61, 1997.
47. 坂本肇, 中村修, 弓削誠, 他：面積線量計による患者被曝管理の検討. 日放技会誌 2000; 56: 1258-1265.
48. Servomaa A, Karppinen J: The dose-area product and assessment of the occupational dose in interventional radiology. Radiat Prot Dosimetry 2001; 96: 235-236.
49. 草間朋子：インターベンショナルラジオロジー (IVR) の際の患者の被曝線量のリアルタイム測定に関する提案. インナービジョン 1997; 12: 104-105.
50. 鈴木滋, 古井滋：IVR 用放射線感受性インジケータ. Isotope News 2005; 617: 7-11.
51. Suzuki S, Furui S, Kohtake H, et al: Radiation exposure to patient's skin during percutaneous coronary intervention for various lesions, including chronic total occlusion. Circ J 2006; 70: 44-48.
52. 山本泰司, 高橋司伸, 小松明夫, 他：GAF chronic dosimetry の特性と PDD, OCR 曲線への利用. 日放技会誌 2001; 57: 1357-1364.
53. 天野雅史, 西谷弘, 河野信吾, 他：X 線により発色する反射型フィルム素材を用いた IVR 手技時の患者皮膚線量測定. 日放技会誌 2002; 58: 420-423.
54. 天野雅史, 西谷弘, 河野信吾, 他：反射型線量測定用フィルムを用いた IVR 手技時の患者皮膚線量. 日放技会誌 2003; 59: 121-129.
55. 森剛彦, 武藤裕衣, 佐藤齊, 長谷川光昭：X 線診断撮影条件の調査に基づく被曝線量とわが国におけるガイダンスレベルの提案, 日医放会誌 2000; 60: 389-395.
56. 福永義純, 松岡信広, 前忠, 河野敏彦：指被曝低減のためのプランジャーの試作. 核医学 2001; 38: 113-123.
57. 稲葉智子, 中山恵一, 水谷仁：塩化タリウム放射線皮膚炎. 皮膚病診療 2001; 23: 919-921.
58. 福田寛：放射線皮膚障害に関する考察. 核医学 2003; 40: 213-220.
59. 西谷弘, 安友基勝, 富永正英：放射線診療における被曝 CT における被曝. 日医放会誌 2002; 62: 347-351.
60. 西澤かな枝：わが国の CT 検査の実態と被ばく線量推定. 日医放会誌 2004; 64: 3-6.
61. ICRP Publication 87: CT における患者線量の管理. 日本アイソトープ協会, 2004.
62. 厚生労働省医薬品局：医薬品・X 線 CT 装置が植込み型心臓ペースメーカー (メドトロニック InSynk 8040) へ及ぼす影響について. 医療機器等安全性情報 No.213, 2005.
63. ICRP Publication 84: 妊娠と医療放射線. 日本アイソトープ協会, 2002.