

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 京都府立医科大学放射線科  
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. 患者の被ばく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) 組織吸収線量  
(2) 等価線量  
(3) 実効線量
3. 放射線皮膚障害の重症度分類と臨床経過

II. 各論 (Q/A)

1. 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
2. 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
3. 被ばく線量に影響する因子：
  - A. 照射パルスレートの影響
  - B. 患者の体型による影響
  - C. イメージ・インテンシファイアと患者の距離
  - D. X線管と患者の距離
  - E. 透視野の大きさ
  - F. 絞りの影響
  - G. 透視・撮影角度の影響
  - H. フラットパネルディテクタ式透視撮影装置
  - I. ベースメーカーおよびリード線の影響
  - J. 透視・撮影野に上腕が入る場合の影響
4. 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. 緊急検査・治療時の被ばく
5. 放射線皮膚障害の発生に影響する患者側の因子

6. 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. 個人線量計の使用法
  - C. 防護衣の種類と効果・鉛当量の影響
  - D. 防護衣の保守・管理
  - E. ゴーグル・頸部プロテクタの効果
  - F. 撮影室に装備が推奨される防護装置と使用法
  - G. 検査室内の線量分布
  - H. 女性医療従事者の妊娠
  - I. 医療従事者への教育・再教育
  - J. 労災認定の要件
7. 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
8. 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
9. 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
10. 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. 放射線医薬品が皮下漏出した場合の注意点
11. 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. ペースメーカー・ICD への影響
12. 妊娠患者に対する検査・治療

（無断転載を禁ずる）

## 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。このような状況に鑑み、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。

### 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 患者の被ばく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。

重要なことは、患者が被ばくする場合の放射線源は X 線管であるが、術者が被ばくするのは X 線管よりも圧倒的に患者の体から発生する二次線であることに留意す

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喪失の結果現れる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）を超えるとともにその確率は急速に 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。一方、放射線を照射された細胞が死滅せずに修復されるとき、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、線量の増加分とともに上昇する。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ている。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。

## 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、そのうちの一部分が医療従事者を照射する。ヒトに照射された放射線は、有害な影響を与えうが、適切な管理でその曝露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。

### (1) 組織吸収線量

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。

### (2) 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の起こる頻度が異なるなど、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。

### (3) 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。

## 3 放射線皮膚障害の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。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 線検査など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值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。

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、臨床上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段階の重症度に分類される。

表 1

	影響	およそのしきい線量 (Gy)	発症までの時間	
皮	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	
	膚	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 1A)

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 1B)

1 回に 20~25 Gy の線量が照射されると上皮に、線量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 1C)

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。

図 1A



図 1B



図 1C



## II 各論 (Q/A)

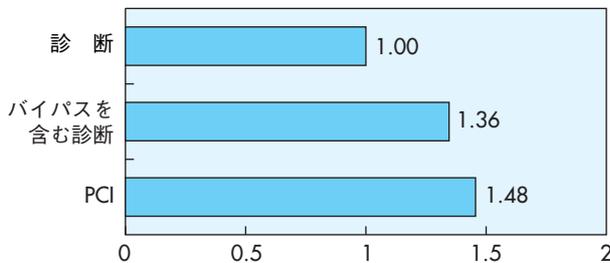
### 1 放射線皮膚障害の基礎知識

#### A PCI における放射線皮膚障害

Q1: 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 2 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させ、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する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開存度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。

図 2 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

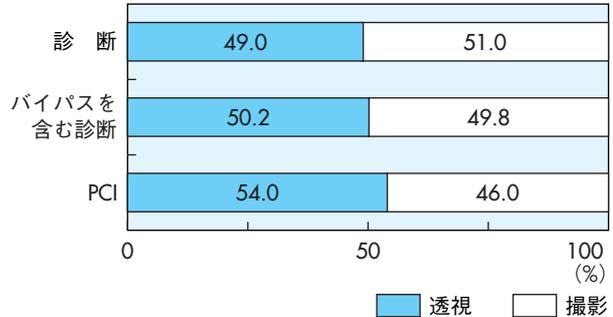


Q2: PCI では透視による被ばくが多いと聞きましたが本当でしょうか。

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する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開存の程度を確認するため繰り返し撮影を行う。図 3 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、それに依

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。

図 3 1 検査当たりの透視と撮影の線量比



Q3: 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。

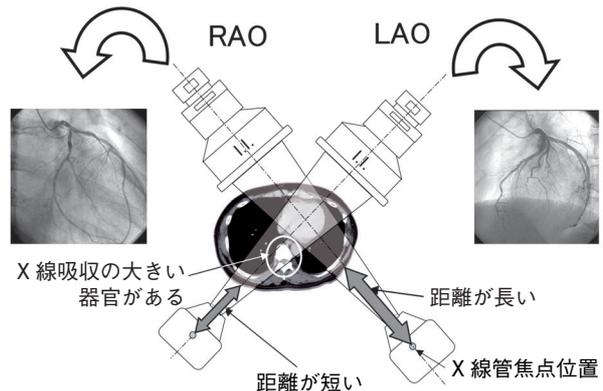
A: 人体は照射された放射線によって、さまざまな影響を受ける。皮膚の吸収線量が 2 Gy 以上になると比較的早期 (数時間) に一過性の皮膚紅斑、24 Gy 以上の照射で皮膚潰瘍を生じる可能性がある (表 1 参照)。

#### B 放射線皮膚障害の好発部位

Q4: PCI で右背部に皮膚障害が多いのはなぜですか。

A: 図 4 に示すように、心臓は患者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が多くなる。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 の場合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

図 4 LAO と RAO における X 線入射方向と被ばく線量の違い



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、患者の右背部に皮膚障害部位が多くなる。

## 2 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

Q5：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、放射線を用いるので、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重要である。

説明者によって内容が異なると、却って患者の不安を増す結果になるので、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はあるものの、説明にあたって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、安心が得られるような説明を心掛けることが重要である。

具体的な説明は、患者に安心を与えることができるので、以下の内容を説明できるように心がけなければならない。

- ・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。

### B PCI 手技中の説明・同意とその後の対応

Q6：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決めればよいでしょうか。

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てある場合でも、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こさないことよりも、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した後も検査・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（Q：22，図 15 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

Q7：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、皮膚障害発生時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) 患者へのインフォームド・コンセント（Q8 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。（Q9 参照）
- (3) 初期障害の把握：一過性の初期紅斑は検査後すぐに現れるため、照射部位の観察を病棟および外来担当医または看護師に依頼する。
- (4) 予測障害の程度によっては、皮膚科医への連絡と協力の要請：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必要である。いずれにしても、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。

**Q8：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。**

**A：**事前のインフォームド・コンセントの有無に拘わらず、治療が必要不可欠なものであったことを伝え、施設における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・コンセントが実施済みの場合も、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、患者さんには以下のように説明する。

- (1) 経過観察のため定期的な受診が必要であること。
- (2) 放射線による影響は通常遅れて出現すること。
- (3) 皮膚障害が起こる可能性のある部位を患者自身に伝え、搔かないこと、入浴時に刺激の強い入浴剤や石鹸の使用を避けること、医師から処方された以外の薬物を塗布しないこと。
- (4) 皮膚の症状に変化があった場合は、その都度受診すること。

**Q9：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。**

**A：**繰り返し行われる PCI では放射線の影響は相加的で、しきい値より低い線量でも皮膚障害をきたすことがあり、短期間に繰り返されることにより重症化する。短期間における同一部位への照射は、照射部位と線量を記録し、過剰な照射防止に努める必要がある。ICRP Publ.85 では、皮膚被ばく線量が 3 Gy（繰り返し施行する症例では 1 Gy）以上と推定される場合には、推定線量と照射部位を適切な体表図上に示すことが望ましい。

## **D** 放射線皮膚障害が発生した場合の対応

**Q10：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療後に色素沈着（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療した場合には、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、皮膚科的治療は必要が無く、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という場合（主紅斑）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危険性が否定できないので、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、色素異常が残った場合でも観察のみで治療は特に必要はない。いずれにしても、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。

## **3** 被ばく線量に影響する因子

### **A** 照射パルスレートの影響

**Q11：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 5A 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いと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、大きな体格の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、低レートの選択が一概に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後に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 5B 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が多くなるので、単に見やすいという理由だけで画像収集レートを多くするのではなく、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。

図 5A 透視のパルスレートと被ばく線量

7.5p/sの線量を1として比較した。9インチ 被写体：アクリル20cm

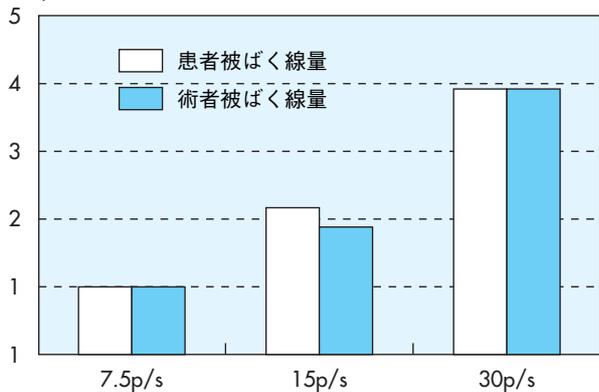
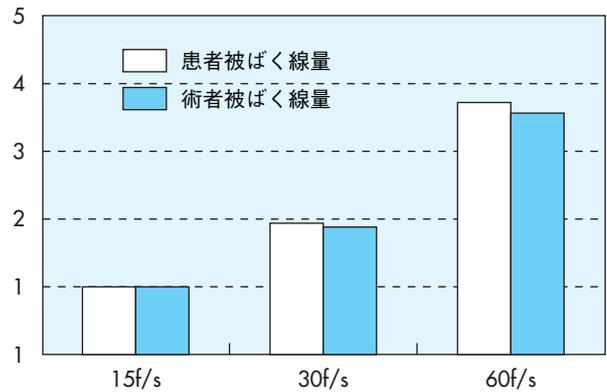


図 5B 撮影フレーム数と被ばく線量

15f/sの線量を1として比較した。9インチ 被写体：アクリル20cm



## B 患者の体型による影響

Q12: 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が多い。図 6 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、肥満の患者の検査は術者の被ばくも多くなる。

## C イメージ・インテンシファイア(I.I.)と患者の距離

Q13: なぜ I.I. 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うなりますか。

A: X 線管と患者の距離が変わらない場合に、I.I. を患者から離すと、X 線管と I.I. 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 7 はカテーテルテーブルの高さはそのまま、I.I. 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。I.I. を 10 cm 離しただけで入射線量は約

図 6 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のパルス透視

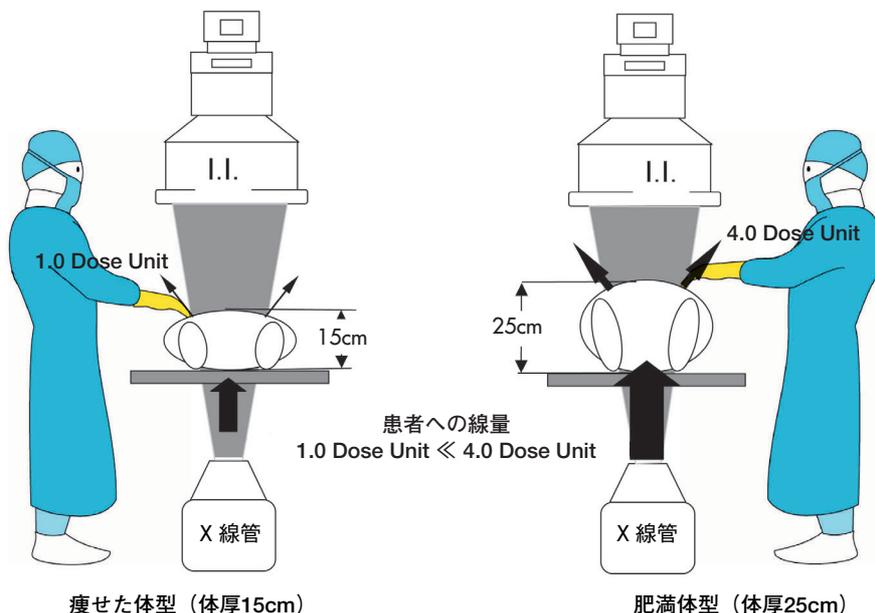
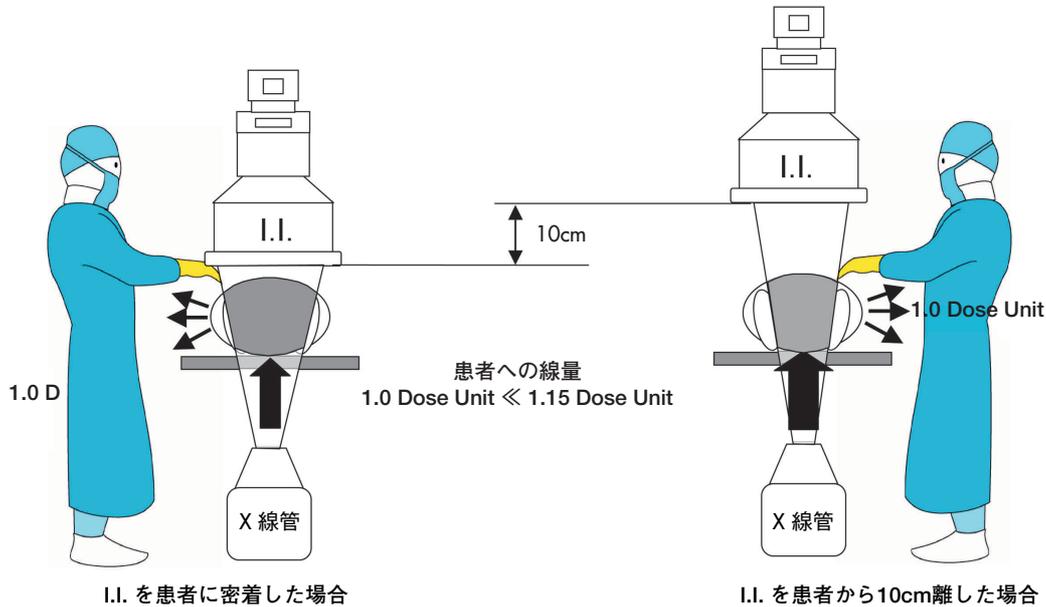


図7 イメージインテンシファイア (I.I.) -被写体間距離と被ばく線量

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。



15% 増加している。日常の検査で I.I. と患者の間が 10 cm 程度離れているをよく見かけるが、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。一方、術者の受ける線量は I.I. を離してもあまり変わらない。

#### D X線管と患者の距離

Q14: 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。また、検査台が低いと、術者の被ばく線量はどうなるのですか。

A: 患者さんを X 線管から離すと X 線管焦点-I.I. 間距離が増すので X 線出力は多くなるが、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量が減少するので皮膚線量が低減する。その様子を図 8 に示す。患者を 10 cm 程度 X 線管に近付けると線量は約 15% 増加するので、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。一方、術者の受ける線量は変わらない。

身長が低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。

#### E 透視野の大きさ

Q15: 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: I.I. サイズを小さくして画面を拡大すると、図 9 に示すように患者の受ける線量は増加する。反対に I.I. 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、I.I. 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が、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、照射野を拡大しても絞りを利用して不要な部分への照射を避けなければならない。

なお、I.I. 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し、I.I. 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し、術者の被ばく線量は増加する傾向にある。

図8 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、  
患者の受ける線量は13%減少する

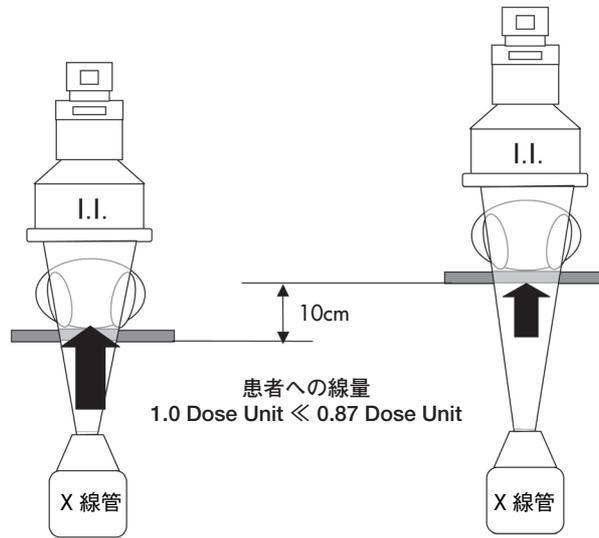
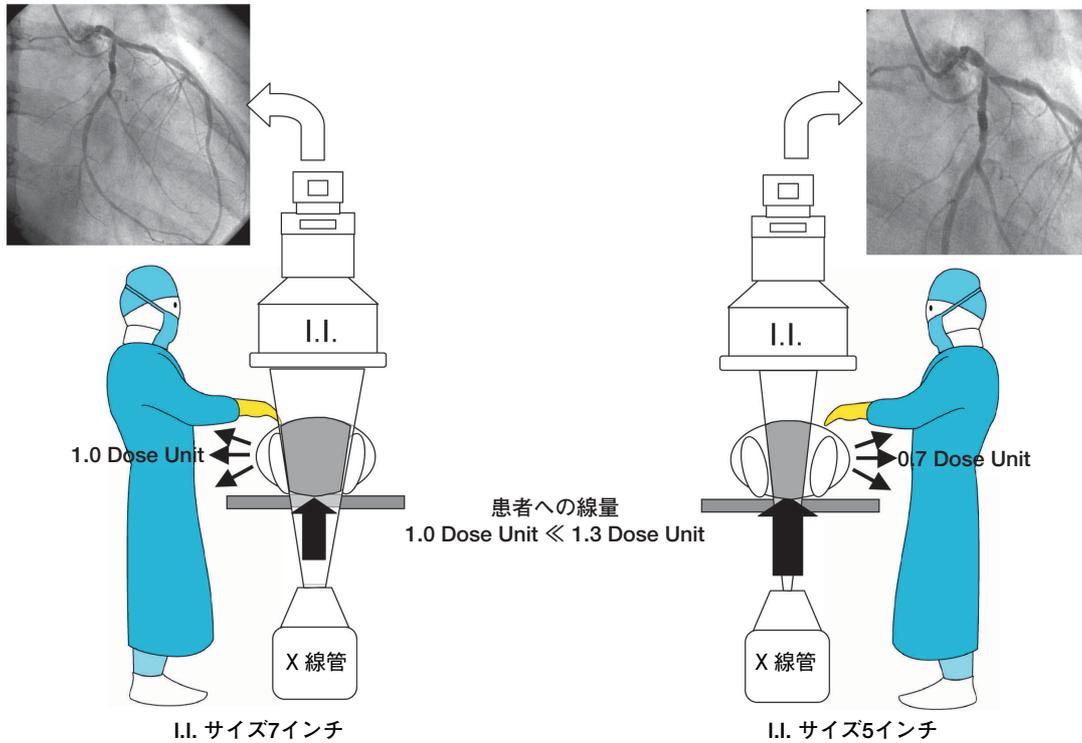


図9 拡大透視・撮影と被ばく線量

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



## F 絞りの影響

Q16: 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 10 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面積を小さくできる。Q22 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。

## G 透視・撮影角度の影響

Q17: 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 I.I. 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 11 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

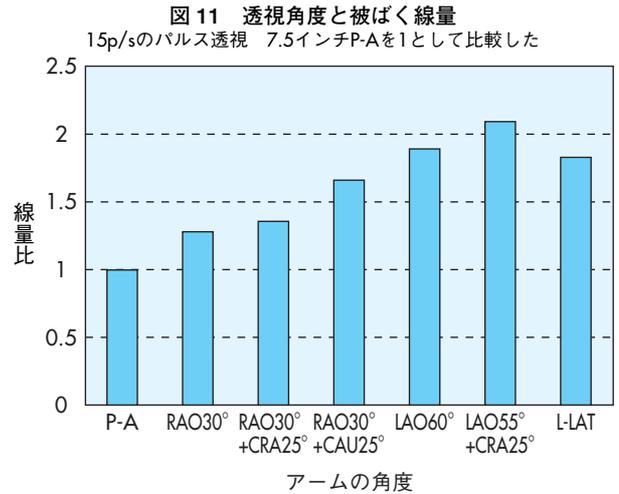
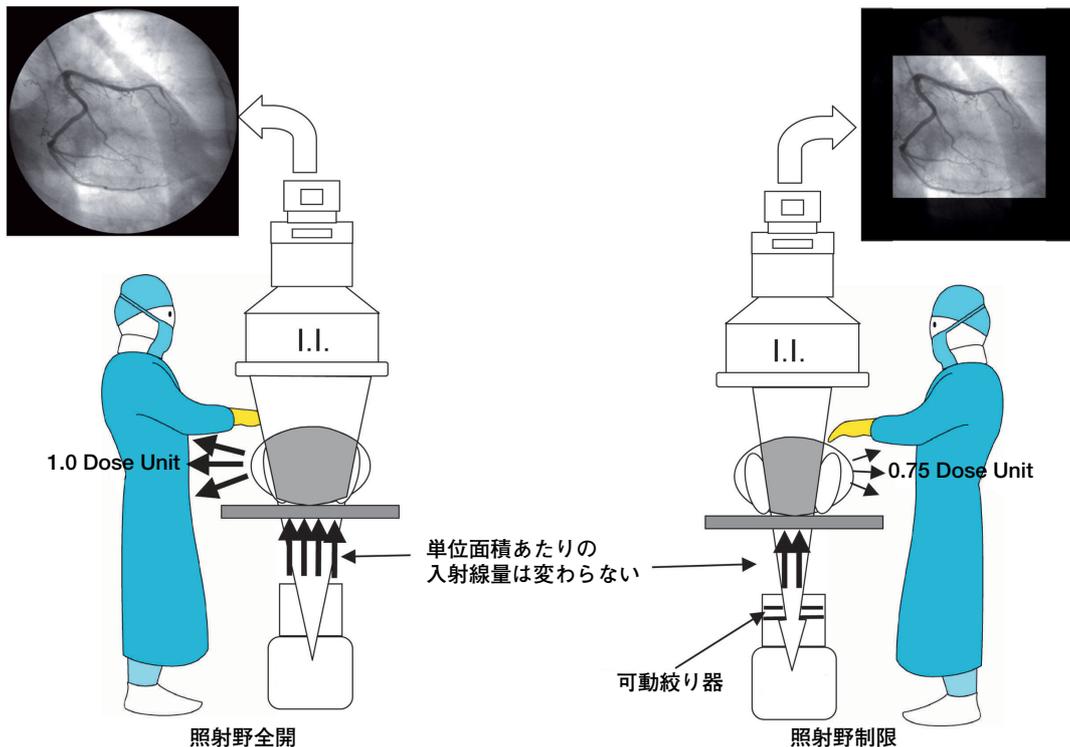


図 10 絞りと被ばく線量

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



ることになるので多くの線量が照射されるが、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（図4参照）。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、I.I. サイズを大きくするなどの線量を下げる努力が必要である。

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ので、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多くならないように注意する必要がある。

### H | フラットパネルディテクタ (FPD) 式撮影装置

Q18：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12）。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。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ものの、取り扱いやすいため現在、循環器撮影用装置に多く用いられている。

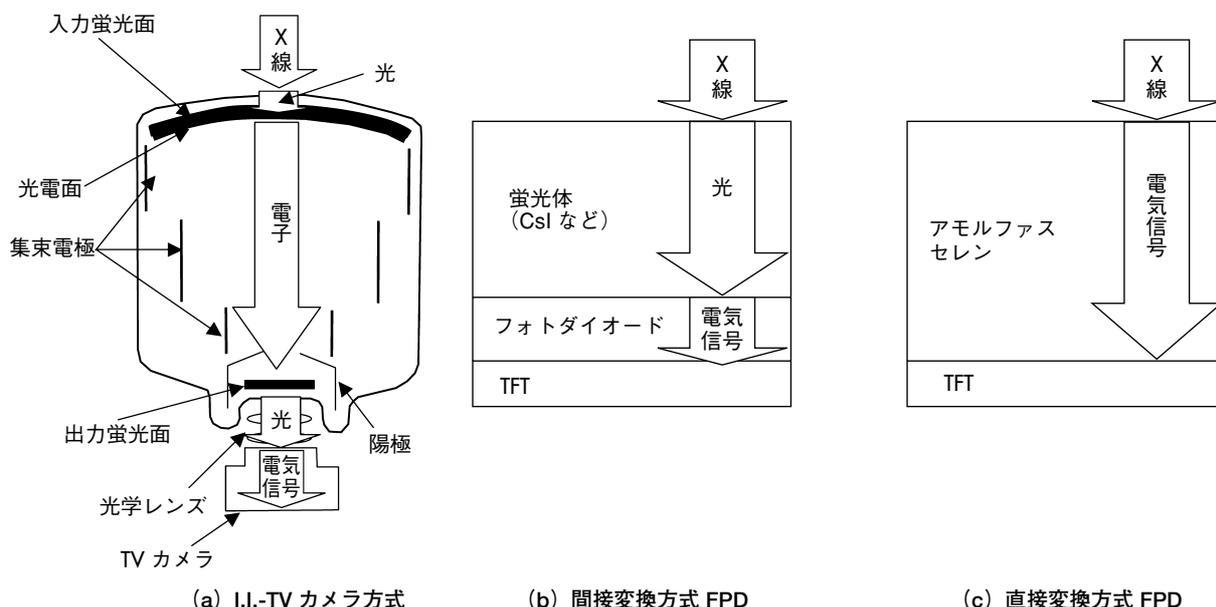
FPD の利点として以下のことが挙げられる。

- (1) 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。
- (2) 歪みがない。
- (3) コントラストがよい

FPD は I.I. と比べて X 線の検出効率がよいので理論上線量低減が可能なデバイスである。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 I.I. と比較して線量低減があまり図れないので、結果として一検査当たりの合計線量は I.I. 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ので、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 I.I. に代わると思われるので、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とため、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、I.I. 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ので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とため過大な線量でも画像再

図12 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





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、従来通りの線量低減法がますます重要となる。

### I | ペースメーカーおよびリード線の影響

Q19: 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 I.I. 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 13 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 I.I. 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、同じ厚さ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、患者の受ける線量は増加するとともに、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ともなるので、できる限り PM を I.I. 中心部に配置しないよう注意する必要がある。

### J | 透視・撮影野に上腕が入る場合の影響

Q20: 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つつある。

また、アブレーションでは検査が長時間に及ぶため患

図 13 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

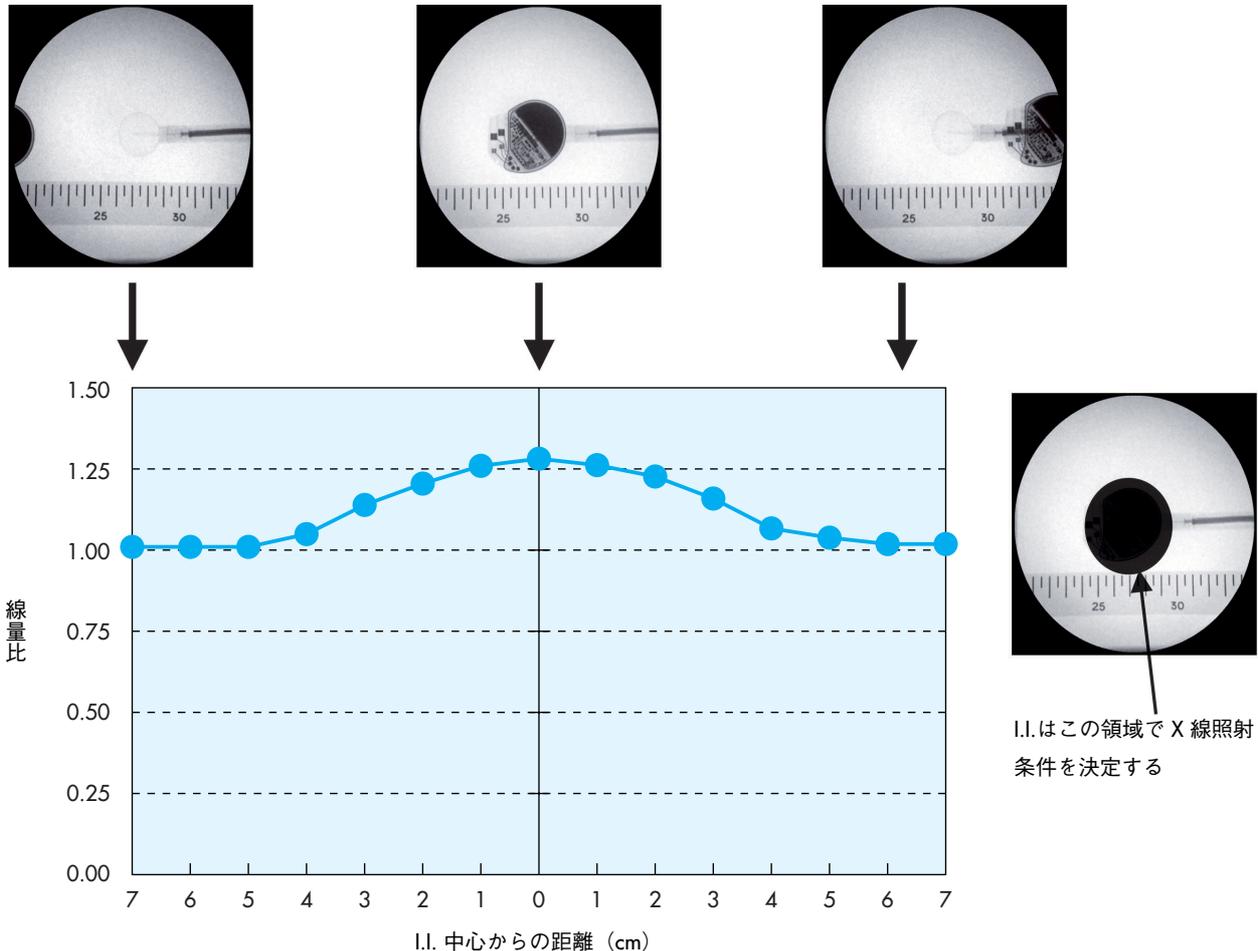
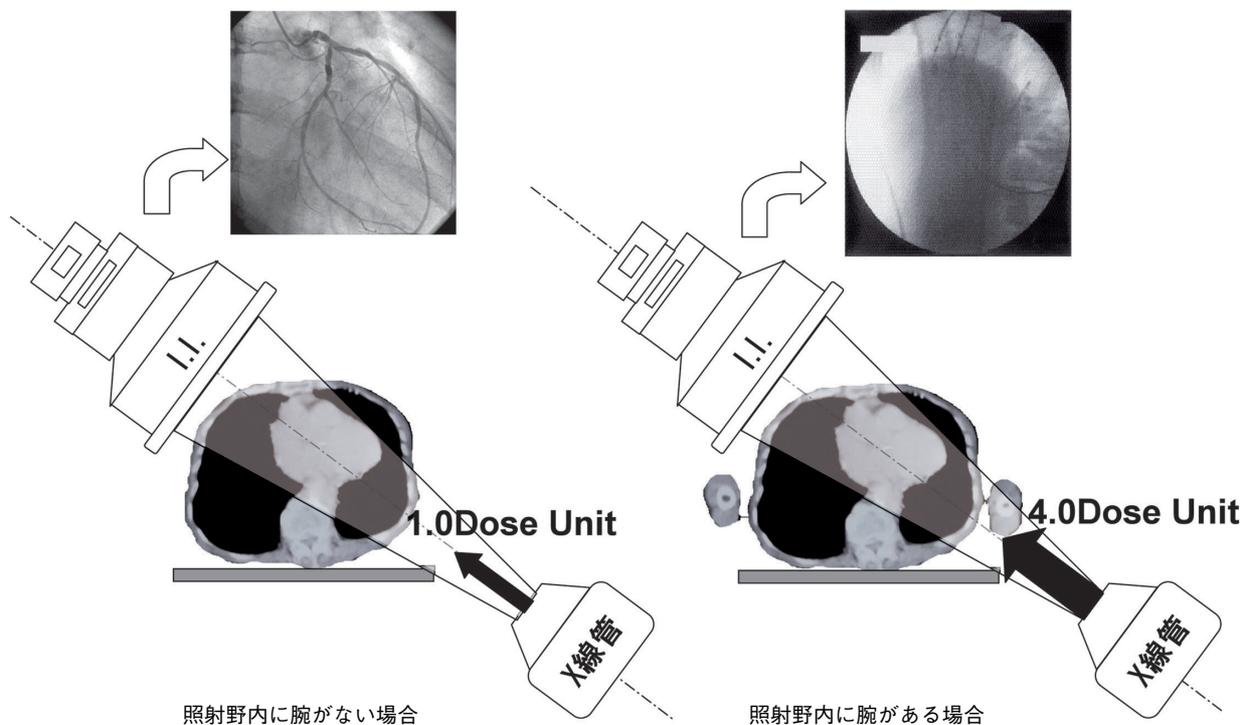


図 14 腕の位置と被ばく線量

腕がない場合の患者の受ける線量を 1 として比較した



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 14 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 I.I. 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、I.I. に到達するまでに患者を横切る距離が大きくなるが、患者の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ので注意が必要である。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。

#### 4 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

Q21：PCI 時の患者さんの線量を減らす方法を教えてください。

A：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。

##### B 緊急検査・治療時の被ばく

Q22：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。撮

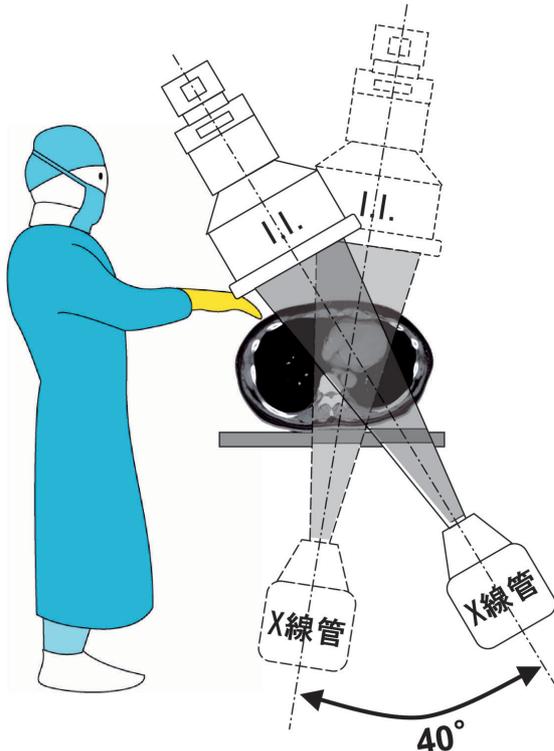
表 2

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。

影装置によっては、 $40^\circ$ 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り（図 15）、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 は病変部位を最も把握できる角度で施行するため、途中で角度を変更す

図 15 患者皮膚入射線量を低減する方法例

X 線入射方向を  $40^\circ$  変えると X 線入射皮膚面の重複がなくなる



ることは難しいが一考の余地はあり、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。

## 5 放射線皮膚障害の発生に影響する患者側の因子

Q23：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。

A：放射線皮膚障害の起こりやすさは、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明確なエビデンスはない。

(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ので照射する X 線の線量がさら増加する。これらの要因により肥満した患者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（Q12, 図 6 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対して最も感受性が高いところは、頸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、かかととなる。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、明確な関係は現時点では不明である。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、アドリアマイシン、ブレオマイシン、5FU、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、数ヶ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、カテーテル検査・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しようとしても、その手技の実施は正当化されると考えられる。ただし、放射線皮膚障害のリスクに関するインフォームド・コンセントは重要である。

## 6 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

Q24：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：術者の被ばくに寄与するのは、ほとんどが患者さんからの散乱 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、患者の受ける線量をできるだけ少なくすることが術者の受ける線量を低減することにつながる。

Q25：PCI 従事者は被ばく線量が高く、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状況にある。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 2Gy 以下の被ばくでも眼の白内障が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することが示唆されたことや、この結果が原爆被爆者、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と一致していることもあり、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、如何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。

### B 個人線量計の使用法

Q26：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 16 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 個装着する。防護衣の内側については、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女性

図 16 個人線量計の装着部位

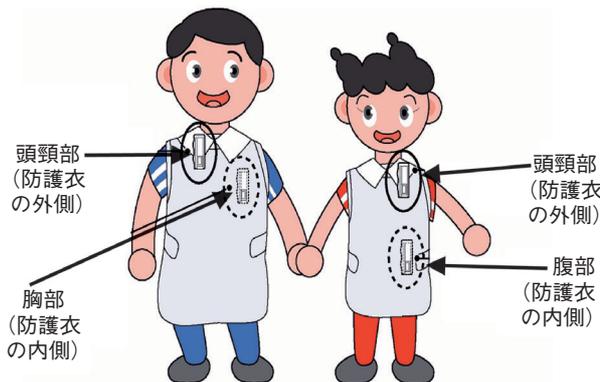
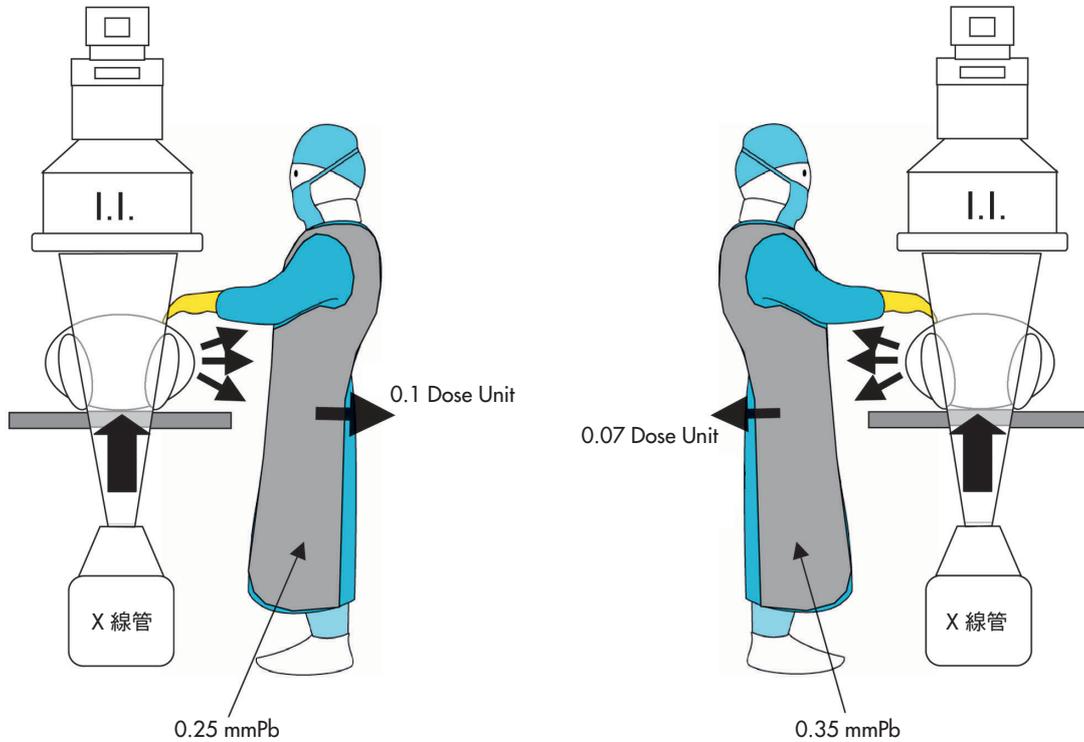


図 17A 防護衣の遮蔽効果

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



の場合は胸部に装着する。防護衣外側については、水晶体の被ばく線量をモニターするために頭頸部に装着する。

**C** | 防護衣の種類と効果・鉛当量の影響

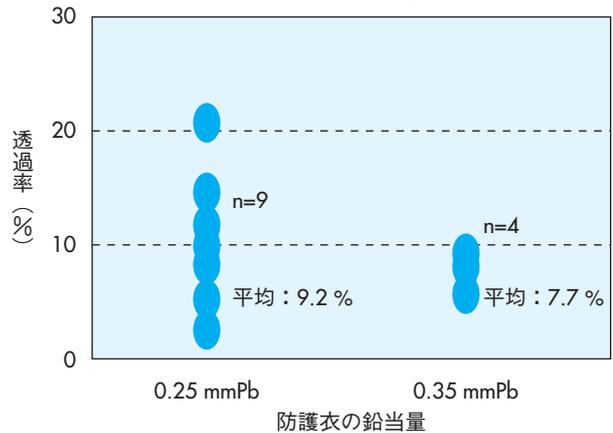
Q27：PCI 時に着用する防護衣はどのようなものを選びたいでしょうか。

鉛当量が 0.25 mmPb と 0.35 mmPb 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。0.35 mmPb の方が少ないのか、0.25 mmPb 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 17A に防護衣の遮へい材の厚さと、遮へい能力を 0.25 mm 鉛当量と 0.35 mm 鉛当量の防護衣で比較したものを示す。また、図 17B に

図 17B 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



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見いだせない。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。

Q28：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、患者で散乱し、さらに壁等で散乱した 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、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ることが重要である。また、エプロ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。

## D | 防護衣の保守・管理

Q29：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が、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、それを目安にするとともに、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。
- (4) 防護衣に余分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を保つ。
- (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、防護材が破れたり脱落していないか確認することも推奨される。

## E | ゴーグル・頸部プロテクタの効果

Q30：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 18A に示すような、甲状腺や頸部を防護するネックガード、眼を防護する防護メガネやゴーグル、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）、上半身への線量はそれ程多くないと考えるかもしれないが、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なことが多い。

防護眼鏡とは、顔面、特に水晶体を放射線被ばくから守るために顔面に装着する防護用具で、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ので、防護効果の大きいものが作れるが重くなる。含鉛アクリルは、加工しやすく軽いので、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、防護眼鏡は 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 18B は 0.07 mmPb の含鉛アクリル製防護眼鏡と

図 18A いろいろな防護用具

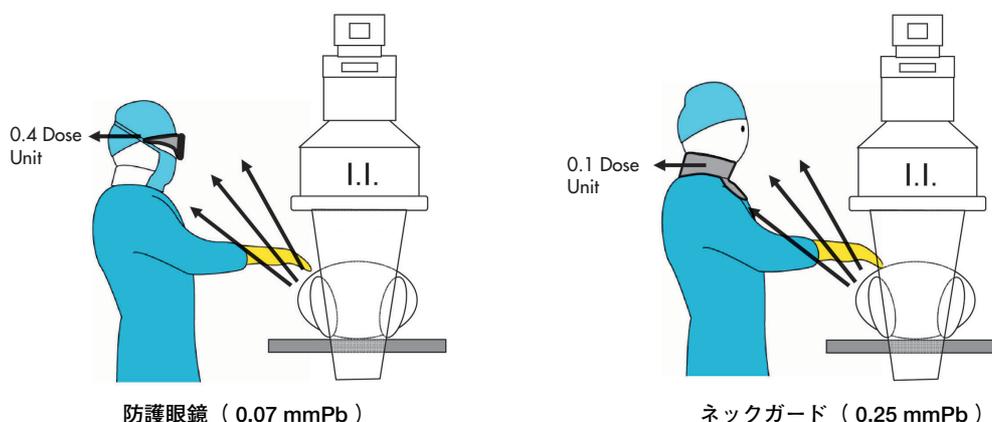


防護眼鏡：ゴーグルタイプ  
(0.07 mmPb)

ネックガード

図18B 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



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。

## F 撮影室に装備が推奨される防護装置と使用法

Q31: 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 19A, B に示す。3種類を組み合わせることにより、より広い範囲の遮蔽効果が得られていることが分かる。

### (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ものである。

### (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、作業性が低下する。図 19 に示したものの高さは 15cm 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ければ、広い可動域が得られるが、アーム角度によっては I.I. 等と干渉するので取り扱いに注意が必要である。術者が被ばくするのは、ほとんどが患者で散乱された 2 次 X 線による。このため、患者と術者の間に設置し、できる限り患者に防護板を近づけるのが効果的である(術者と X 線管の間ではない)。図 20 に最も効果的な位置の一例を示す。

図 19A いろいろな防護用具の外観

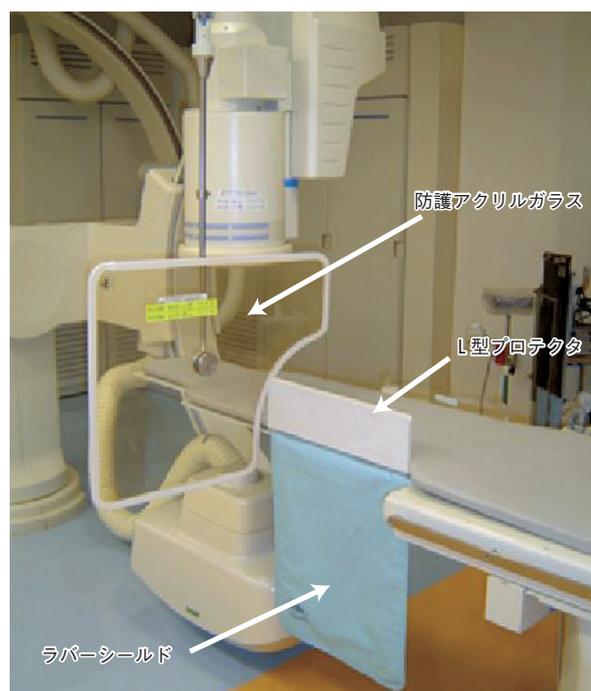


図 19B 3 種類の防護用具の効果

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

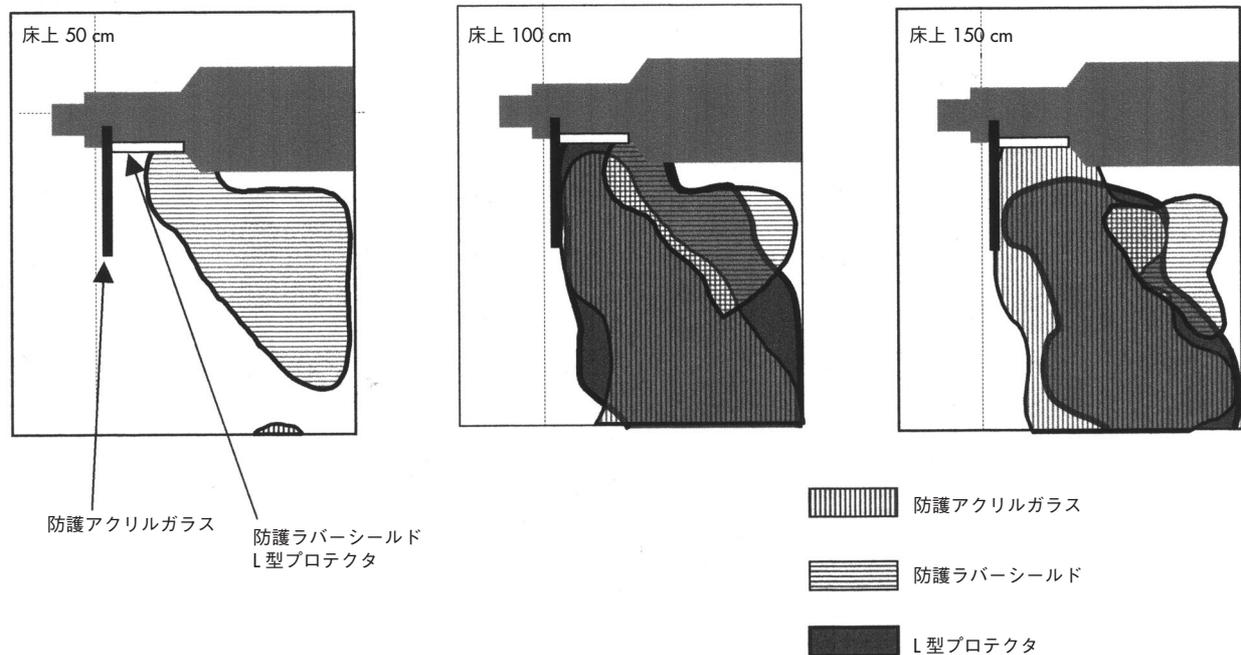


図 20 防護衝立の有効な位置 (矢印)



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 21D)。透視時には比較的線量率の低い検査室の周辺部ですら、撮影時には透視時の術者位置に匹敵する線量率になるので、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。

**G** 検査室内の線量分布

Q32: 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ので、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 21A, B, C にいろいろな X 線入射方向における線

図 21A 検査室の線量分布 (X線入射方向:P-A, 透視)

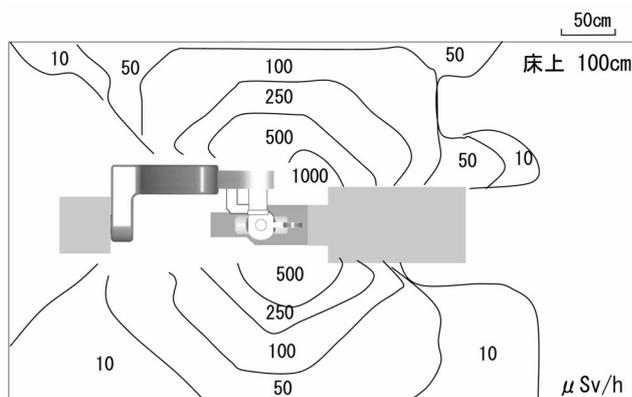


図 21B 検査室の線量分布 (X線入射方向:RAO30°, 透視)

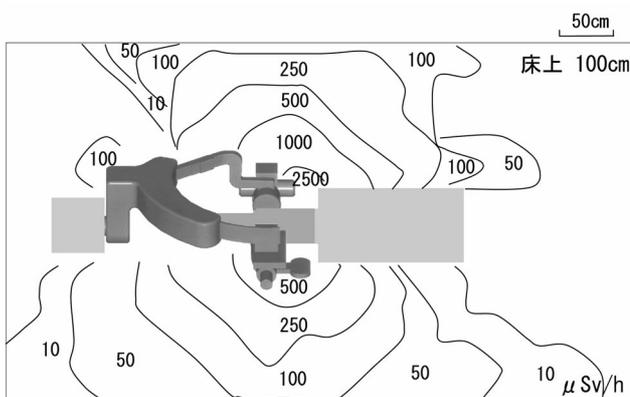


図 21C 検査室の線量分布 (X線入射方向:LAO60°, 透視)

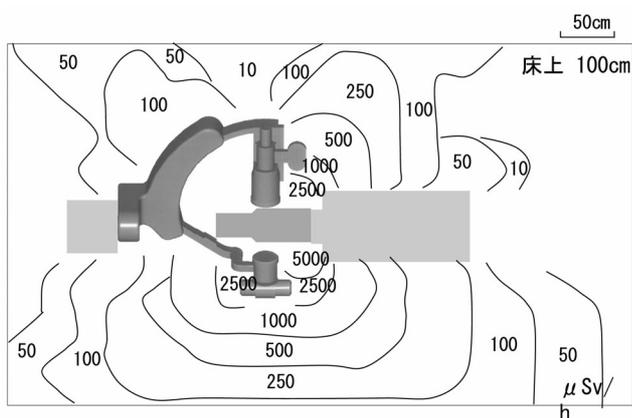
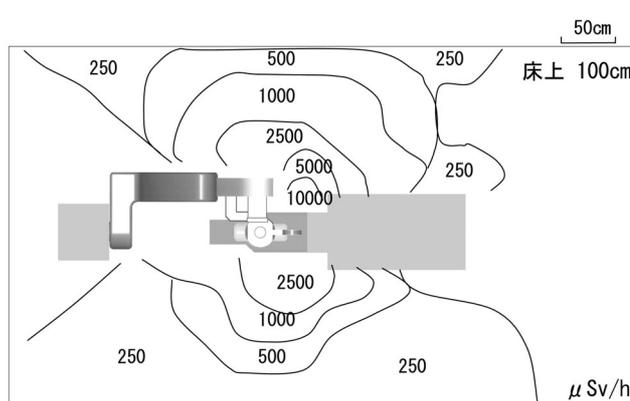


図 21D 検査室の線量分布 (X線入射方向:P-A, 撮影)



## H 女性医療従事者の妊娠

Q33: 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: 先ず、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考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は 2 mSv と規定されている。また、腹部表面における等価線量の1ヶ月ごと、および妊娠中における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ので、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 以内にする必要がある。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って、決して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。当事業者は、これらのことを把握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。

## I 医療従事者への教育・再教育

Q34: 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ものは、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という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。

#### [教育訓練の項目]

- (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) 放射線障害予防規定 [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。

[頻度] 放射線障害防止法においては、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決められている。

## J | 労災認定の要件

Q35：放射線診療従事者ががん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。

## 7 | 撮影装置の管理

### A | 撮影装置の保守管理

Q36：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には、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 I.I. は、経時的に輝度が低下するので、そのまま放置す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。施設間の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 I.I. 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ので、I.I. 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 I.I. 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 線条件を維持できたが、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。

## B | 被ばく低減のための装備

Q37：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：最近の PCI に対応した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、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の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、皮膚障害防止を確証するものではない。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ので、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。

## 8 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

Q38：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。3 Gy を超えると一過性脱毛の可能性があり、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ので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だけ避けなければならない。

### B 経皮的下肢動脈形成術(PTA)施行時の注意点

Q39：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つつある。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。穿刺部位と治療部位が近いので、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、大口径 I.I. を使用することが多いので、小口径 I.I. 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 I.I. サイズを使用して検査を実施することが重要である。

この検査は、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 19A)。術者には、これらの防護用具を駆使した放射線防護が推奨される。

## 9 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

Q40：カテーテルアブレーションやペースメーカー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て撮影はほとんど行われず。また、ガイドワイヤよりも認識しやす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検査を行うことが一般的である。これらのことは、PCI と比較すると防護上有利な要素である。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透視を継続する可能性が高く、同じ部位に連続的に照射が行われることが多い。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。低レートパルスの透視を使用し、上腕を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

Q41：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、しばしばバイプレーンの正・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点は、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点である。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ない時には 30-60 分間隔程度に固定を緩め、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。

## 10 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

Q42: 心筋 viability の評価としてタリウムを核種として使用した場合に、タリウム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。

A: 核医学検査で患者に投与する放射性医薬品は少ない量なので、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問題はない。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ので、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

Q43: 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多くなり、以前よりは従事者の被ばく低減が考慮されているものの、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を取り扱う場合も、手際の良い作業が被ばく低減の有効な方法である。

## C | 放射線医薬品が皮下漏出した場合の注意点

Q44: 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。皮下漏出した放射性医薬品が、限局した場合は限局組織に高吸収線量を与える可能性があるため、短半減期の放射性医薬品だからと安易に考えてはいけない。本邦においては、心筋シンチグラフィ施行時に TI-201 が皮下血管外漏出し、ただちに処置したものの、2 週間後に同部位皮膚壊死、3 ヶ月後に潰瘍は癒痕上皮化、4 年後同中心部に強い癒痕、色素脱失、皮膚萎縮、血管拡張、周囲色素沈着を来し、慢性放射線皮膚炎と診断された症例が報告されている。検査の過程で放射性医薬品の漏出を認めた場合、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と考える。

## 11 CT 検査

### A | 冠動脈 CT 検査を受ける患者の被ばく線量

Q45: 最近、多列検出器コンピュータトモグラフィー (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。

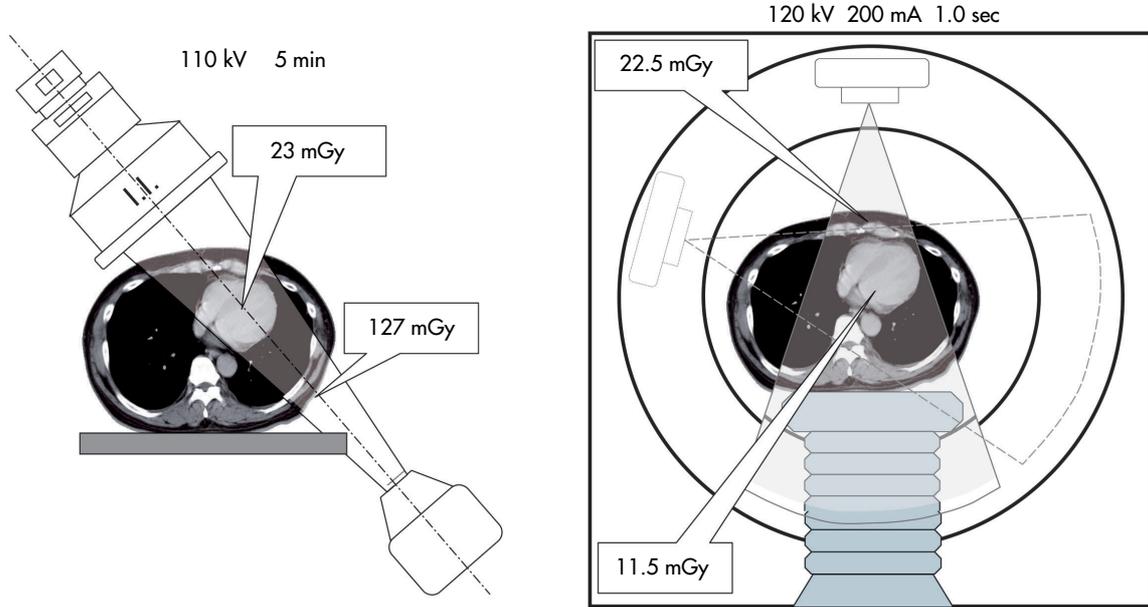
- (1) スキャノグラフィ撮影: 大まかな撮像範囲を得る
- (2) 位置決め用単純スキャン: 造影時のスキャン範囲を決める
- (3) 造影スキャンのタイミングを図るためのスキャン (リアルプレップ): 造影剤を 3~4 ml/s の速度で静脈注入するした後、同一位置でスキャンを繰り返し、上行大動脈もしくは心腔内に設定した ROI の CT 値を観察しながら、造影ヘリカルスキャンのスタートタイミングを図る
- (4) 心電図同時記録造影ヘリカルスキャン: 心電図を同時に記録する心同期造影ヘリカルスキャンを行う。

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 22A に示す。

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

図 22A 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)  
 撮影条件：スキャノグラフィ、120kV 10mA；位置決めスキャン、135kV 300mA ピッチ1.0；  
 プレップスキャン、135kV 50mA；造影ヘリカルスキャン、135kV 450mA ピッチ0.19



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 22B 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 で患者さんの受ける線量が大きくなるのはそのためである。

次いで、図 22C 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。

図 22B 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)  
 CTDIvol, CT 線量評価の指標

HP = 1.438  
 (CTDIvol : 0.4 mGy)

HP = 0.938  
 (CTDIvol : 0.7 mGy)

HP = 0.688  
 (CTDIvol : 0.9 mGy)

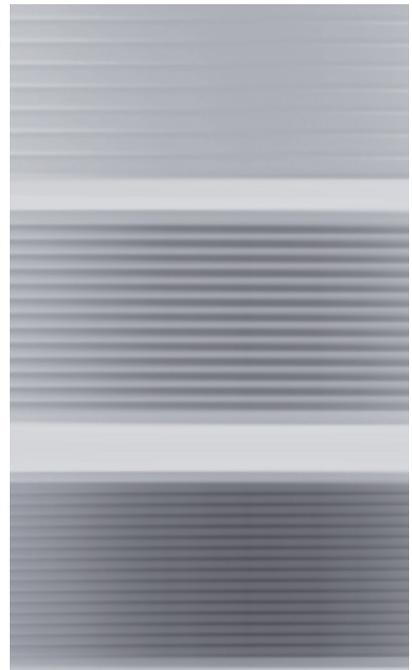
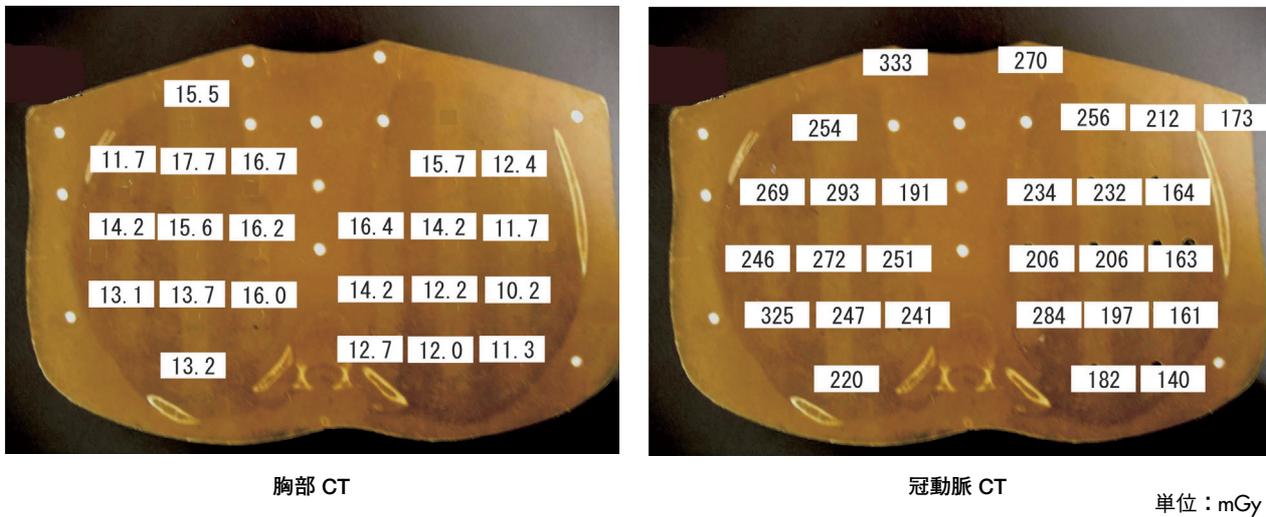


図 22C 胸部単純 CT と冠動脈 CT による患者の受ける線量の比較

(資料提供：藤田保健衛生大学)



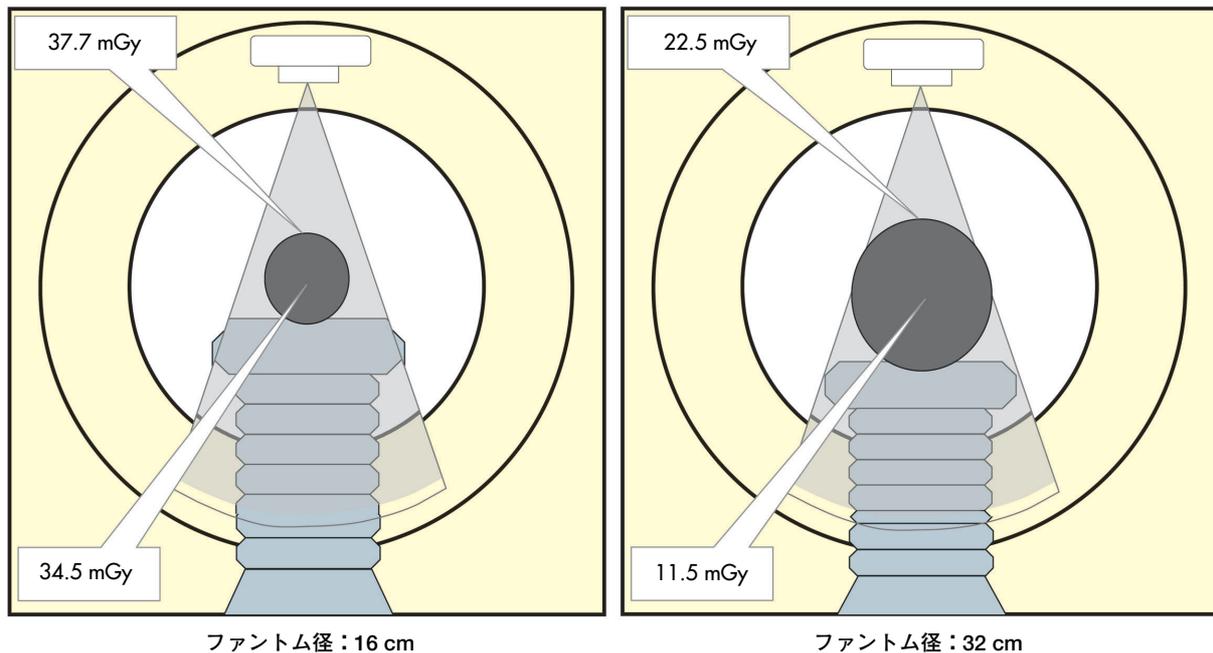
Q46：冠動脈造影検査と同様に，CT でも体格の違いによって被ばく線量は異なりますか。また，それは臨床的には問題になる程度でしょうか。

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 23 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，ファントム中心および周辺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ので，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

図 23 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



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

Q47: 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。その場合スキャンが重複する部分の線量は多くなる。

## C ペースメーカー・ICD への影響

Q48: ペースメーカー (PM) 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なんですか

A: 最近、複数の施設から 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、心臓の電氣的興奮を増幅する 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ことによる。その結果、PM ではオーバーセンシングによってペース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。

それぞれ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実施する場合は、以下の事項に注意を払い行うことが重要である。

### (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、競合ペースングをしない状態で固定ペースングモードに設定

し検査を行うか、一時的に体外ペース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。

## 12 妊娠患者に対する検査・治療

Q49: 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 100 mGy 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、検査の必要性の確認や、妊娠終了まで延期することが可能かどうかを確認する必要がある。胎児の受ける線量が 100 mGy 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. 胸部や上肢、頭部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) の厳格な実施
3. 胎児の受ける線量の評価