

課題研究報告

心臓カテーテル検査における透視線量および被ばく低減技術の標準化
(ガイドライン化を目指して) —第2報

埼玉県立循環器・呼吸器病センター 放射線技術部	田島 修
	鍋倉 良三
昭和大学横浜市北部病院 放射線部	佐藤 久弥
新東京病院 放射線部	佐藤 公一
横浜市立大学医学部附属市民総合医療センター 放射線部	菊地 達也
	菊池 暁
	天内 廣
NTT 東日本関東病院 放射線部	塚本 篤子
	若松 修
千葉県循環器病センター 放射線部	今関 雅晴
	景山 貴洋
	佐藤 次男
昭和大学藤が丘病院 中央放射線部	加藤 京一
昭和大学病院 放射線部	斉藤 肇
	中澤 靖夫

1. はじめに

本課題研究の初年度は現状の透視線量を調査し、その測定結果より透視基準線量率を提案した。今回は循環器検査・治療の「被ばく低減技術ガイドライン」、「術者の被ばく低減ガイドライン」を文献引用およびアンケート等より考察し提案する。

2. 第1報のまとめ

- ① 東京および近県の36施設、49装置の透視線量率を測定した。
- ② われわれが提案する測定法での平均透視線量率は、 25 ± 16 (Mean \pm SD) mGy/minであった。
- ③ 最高透視線量率は75.9mGy/min、最低透視線量率は7.6mGy/minであり10倍の較差があった。

- ④ 平均透視管電圧は 80 ± 6.8 kVであった。
- ⑤ 平均LI使用年数は 2.5 ± 1.5 年であった。
- ⑥ 透視線量率の平均値は、目標の20mGy/minを達成しなかったが、低減できうる可能性は十分に残されていた。
- ⑦ 被ばく線量低減の活動をさらに推進する必要があると同時に日常の装置管理が重要である。
- ⑧ Low Modeの透視設定と0.1mmCuの付加フィルタ装置を提案した。

3. アンケートによる被ばく低減の取り組み調査

全循研会員およびPCI、IVRを施行していると思われる216施設に、被ばく線量低減に関するアンケートをEメールと封書で送付した。111施設の回答があり回答率は51.4%であった。設問と回答およびその考察を以下に示す。

貴施設の被ばく線量低減への取り組みについてお聞きします。

Q1. ICRP Publ.85の「インターベンションにおける放射線傷害の防止」の内容をご存じですか? (図1)

はい: 62% いいえ: 38%

*2003年9月時点では6割以上が知っているという回答している。同時期に(株)丸善より「IVRにおける放射線傷害の回避」(翻訳/発行: 日本アイソトープ協会)が発売された¹⁾。これによりさらに周知徹底されることを望む。

Q2. IECでは、IEC60601-2-43 (Interventional Procedures用X線装置の安全に関する個別要求事項)において、「IVR基準点をアイソ



図1 Publ.85を知っていますか?

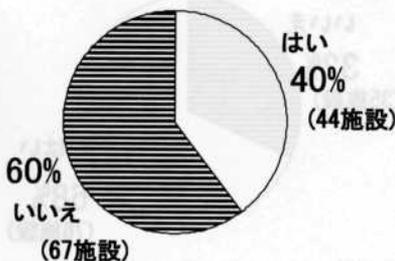


図2 IVR基準点を知っていますか?

センターからX線管側に15cm移動した点であり、そのポイントを患者皮膚面と仮定して線量率を評価する点である²⁾として

います。この規定をご存知ですか? (図2)

はい: 40% いいえ: 60%

*IVR基準点が表示されたことで、これまでまちまちだった測定法や測定点が統一されることになる。測定器の問題は残るが、同じ測定方法でデータを得ることにより、他施設の装置との比較が容易となる。しかし、会員のうちの6割はIVR基準点を知らないという回答しているので、さらなる広報活動が必要である。

Q3. 昨春の全循研総会において透視線量の標準化(案)として、透視線量率20mGy/min、Low mode透視および付加フィルタの装着0.1mmCu eq.を提案させていただきました。貴施設の現況よりこの提案をどう思われますか? (図3)

適切: 75% 不適切: 13%

無回答: 8% わからない: 4%

*この提案に関してはさまざまなご意見をいただいた。結果が示すように概ね好意的に受け入れていただけたようである。ご批判をいただいた事項においては熟考し、後の「本課題

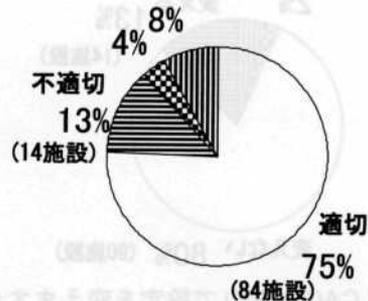


図3 第1報の提案をどう思いますか?

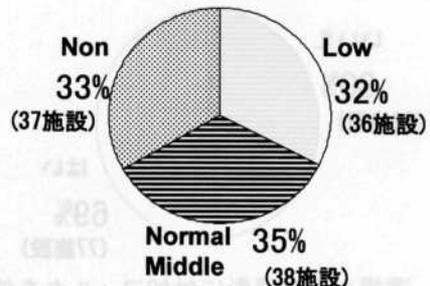


図4 ルーチンの透視設定

研究のまとめ」に示すように透視線量率 25mGy/minとして再提案する。

Q4. 透視設定をお聞きます。

①CAG (ルーチン) の設定は? (図4)

Low : 32% Normal or Middle : 35%
Non : 33%

②CAGとPCIで設定を変えていますか? (図5)

変える : 13% 変えない : 80%
無回答 : 5% 時々変える : 2%

*Lowモード、NormalまたはMiddleモードおよび、透視の設定をユーザー側で可変できない装置がほぼ同数であり3等分された。NormalまたはMiddleモードを使用している回答者からは、「Lowモードだと画像が良くない」と医師からクレームが出るとの意見も4件いただいた。被ばくと画質はトレードオフの関係にあり、さらにIL-TV系およびCRTの輝度は経年変化するので、現状を良く表していると思われた。また、Highモードの回答はなかった。

一方、CAGとPCIでは8割が設定は変えないとの回答であった。透視設定を変える方式は

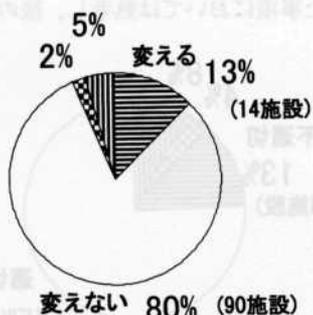


図5 CAGとPCIで設定を変えますか?

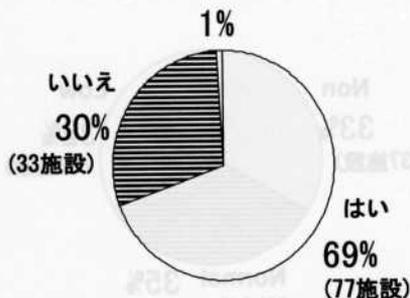


図6 透視および撮影に付加フィルタを使用していますか?

Low→Normalや15Pulse/s→30Pulse/sなどのように、線量を増加させる施設が大部分であった。PCIだから高線量と条件反射的に変更しているとなれば、それは誤りであり再考の余地がある。

Q5. 透視および撮影に付加フィルタを使用していますか? (図6)

はい : 69% いいえ : 30% 無回答 : 1%

*約7割の施設で付加フィルタを使用していた。「付加フィルタを入れることが可能な場合は、IL入射線量が飽和していなくて、余裕がある場合が可能である」とのご意見もいただいた。

Q6. 定期的に透視線量および撮影線量の測定をしていますか? (図7)

はい : 68% いいえ : 32%

*約7割の施設で定期的に線量測定を実施していた。その多くはメーカーに依頼し測定値を確認しているとのことであった。今後は是非とも自ら6ヶ月ごとにIVR基準点で測定して確認されることを希望する。

Q7. アンギオシステムの散乱線防止機構についてお聞きます。

①天吊りまたは床置移動型防護板 (図8)

あり : 77% なし : 22% 無回答 : 1%

②寝台からの術者下半身用スカート (図9)

あり : 67% なし : 31% 無回答 : 2%

*術者の散乱線による被ばく防護機構は7~8割の施設で設置していた。メーカーにはオプションではなく装置の標準仕様として販売していただくことを希望する。

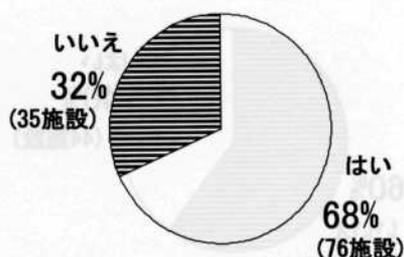


図7 定期的に透視および撮影の線量測定していますか?

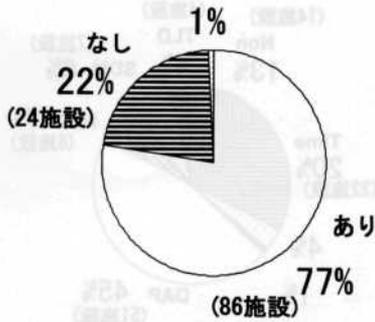


図8 防護板をつけていますか？

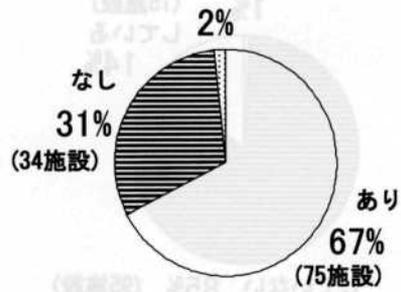


図9 防護スカートをつけていますか？

Q8. 術者の被ばく防護について設問した。

- ① X線防護衣の形状は？
 コートタイプ：34% エプロンタイプ：49%
 まちまち：17%
- ② 防護衣の鉛当量は？
 0.25mm：61% 0.35mm：37%
 0.5mm：2%
- ③ 水晶体防護具は？
 装着：67% 未着：19% まちまち：13%
- ④ 甲状腺防護具は？
 装着：83% 未着：6% まちまち：11%

Q9. 副術者の被ばく防護について設問した。

- ① X線防護衣の形状は？
 コートタイプ：34% エプロンタイプ：50%
 まちまち：16%
- ② 防護衣の鉛当量は？
 0.25mm：64% 0.35mm：33%
 0.5mm：2%
- ③ 水晶体防護具は？
 装着：58% 未着：29% まちまち：13%
- ④ 甲状腺防護具は？
 装着：78% 未着：11% まちまち：11%
- * 術者および副術者において甲状腺防護具の装着率が高かった。

Q10. 看護師の被ばく防護について設問した。

- ① X線防護衣の形状は？
 コートタイプ：48% エプロンタイプ：38%
 まちまち：14%
- ② 防護衣の鉛当量は？
 0.25mm：79% 0.35mm：19%
 0.5mm：2%
- ③ 水晶体防護具は？

装着：1% 未着：96% まちまち：3%

- ④ 甲状腺防護具は？
 装着：20% 未着：73% まちまち：7%

Q11. 診療放射線技師の被ばく防護について設問した。

- ① X線防護衣の形状は？
 コートタイプ：28% エプロンタイプ：59%
 まちまち：12%
- ② 防護衣の鉛当量は？
 0.25mm：70% 0.35mm：27%
 0.5mm：3%
- ③ 水晶体防護具は？
 装着：3% 未着：97%
- ④ 甲状腺防護具は？
 装着：9% 未着：91%

Q12. 臨床工学士および臨床検査技師の被ばく防護について設問した。

- ① X線防護衣の形状は？
 コートタイプ：24% エプロンタイプ：67%
 まちまち：9%
- ② 防護衣の鉛当量は？
 0.25mm：81% 0.35mm：19%
- ③ 水晶体防護具は？
 装着：2% 未着：97% まちまち：1%
- ④ 甲状腺防護具は？
 装着：10% 未着：89% まちまち：1%

Q13. ICRP 85勧告は、繰り返し行うIVRでは1Gyを越えたと思われる症例にはカルテへの記載が必要で、3Gyを越えたと思われる場合は定期的なfollow upが必要とされていますが、被ばく線量を推定する手法は何を用い

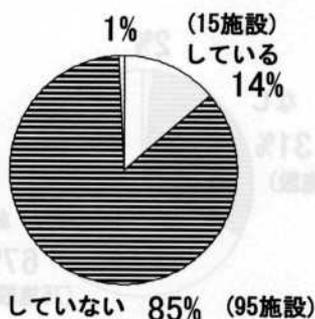


図10 被ばく線量のカルテへの記載

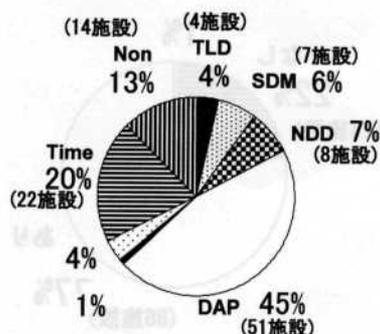


図11 被ばく線量を推定する手法は？

どうされていますか？

①カルテ記載 (図10)

している：14% していない：85%
無回答：1%

*これからは何らかの方法で被ばく線量を推定し、医師と協議してカルテへの記載が必要になるであろう。

②定期的な follow up

している：11% していない：86%
無回答：3%

*1回のIVRで3Gyを超えたと思われる場合は、10～14日後に被ばくした部位の診察を行うべきであると勧告されており、もし皮膚反応が認められた場合、IVR手技の詳細と推定皮膚線量を添えて皮膚科の医師に紹介すべきとされている。

③被ばく線量を推定する手法 (図11)

DAP：45% 時間：20% NDD：7%
SDM：6% TLD：4% その他：4%
Film：1% なし：13%

*面積線量計の値は空気カーマとX線照射面積の積をすべて積算したもので、局所の皮膚線量を表すものではないが、Cアームの角度情報の割合などから補正し概算の局所線量を導くことも可能と思われる。面積線量計を有効に利用するのが現実的と思われる。

Q14. 定期的な被ばく低減教育をしていますか？

①している：32% していない：68%

②講師は？

診療放射線技師：77% 医師：20%
その他：2%

③テキストは？

市販：80% 独自：9% その他：11%

*「IVRにおける放射線傷害の回避」の概要によれば、「IVR術者の多くは、IVRによって放射線傷害が生じる可能性があることを知らないか、放射線傷害の発生を減らす簡単な方法を知らない」と記されている。放射線防護および放射線の生物学的影響についての教育を継続的に行うべきである。

4. 被ばく低減技術の提案

『アンケート結果および文献³⁾より以下の被ばく低減方法を提案する。』

①「透視時間を短く」を啓発し続ける。

②低レートパルス透視を使用する (図12)

画質とのバランスで可能な範囲で低レートパルス透視を使用する。

③必要最小限の撮影レート、枚数を実践する。

収集レートを下げると被ばく線量は低減する。収集レートの決定は心拍数、造影部位、撮影角度等に関係し、特に小児では重要なポイントである。収集レートは検査中に目的に応じて随時変更する

④軟線除去フィルタをX線管に付加する (図13)

30keV以下の軟X線は皮膚線量にだけ影響し、被験者を通過しない。そのため画質への寄与はほとんどなく不要な被ばくとなる。銅板等のフィルタは低エネルギー光子(軟X線)を除去する。付加フィルタ未装着の装置には、0.1mm銅板を装着されることを勧める。また、銅フィルタは術者への散乱線も低減させ有効である。とかく見過ごされるが術者下腿への散乱線被ばくは多く、対策が必要であるが、フィルタと防護カーテンによって1/100程度に低減されること

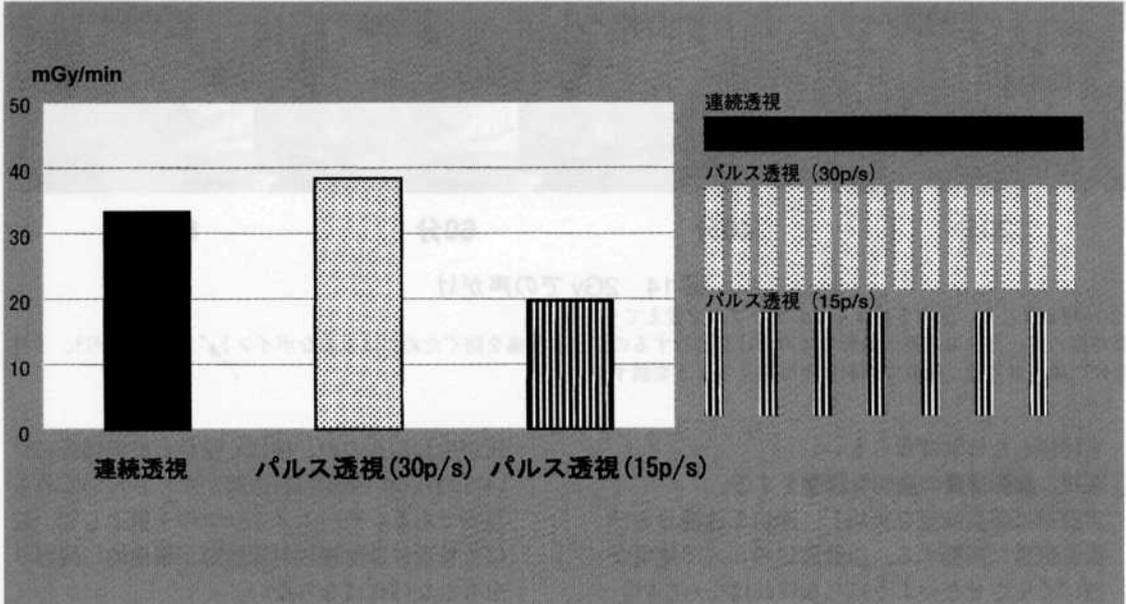


図12 低レートパルス透視の活用

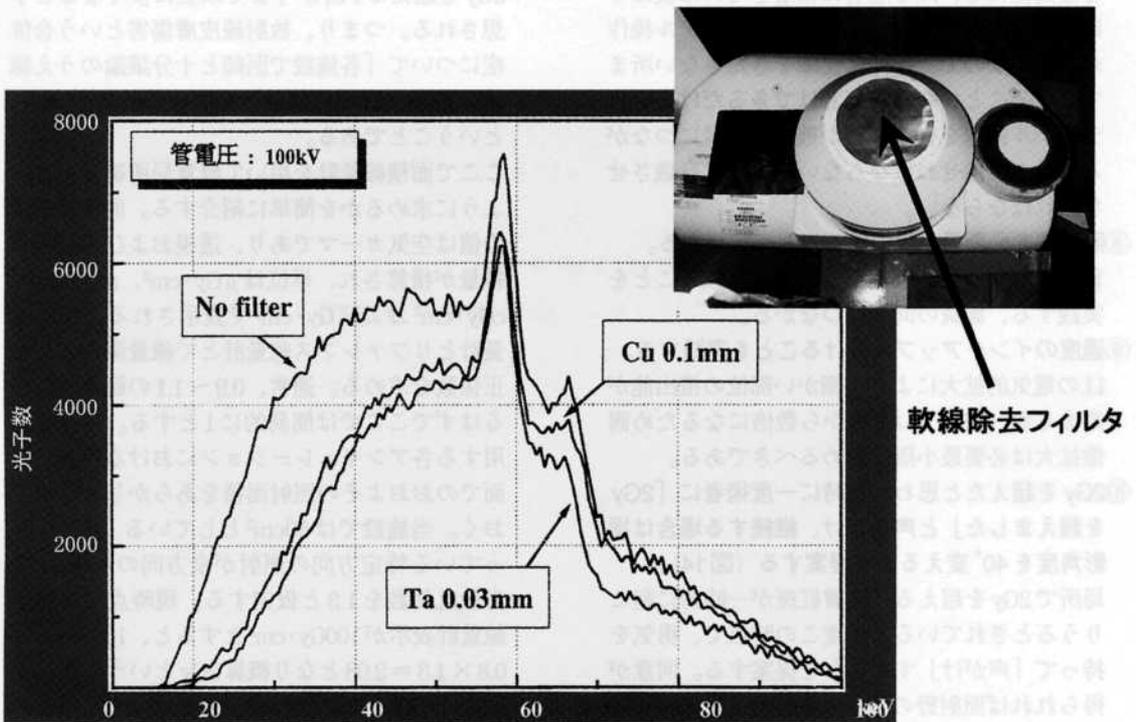


図13 軟線除去フィルターの効果
フィルタの未設置の装置は0.1mmCuの装着を



20分

40分

60分

80分

図14 2Gyでの声がけ

「2Gyを超えました。治療を続けるならアングルを変えてください」

長時間の同一方向の透視、撮影では声がけを励行するのが皮膚潰瘍を防ぐためには重要なポイント。2Gyで声がけ、手技継続の場合は可能な範囲で照射角度を変えるよう要請する。

を認識しなければならない。

- ⑤透視、撮影線量の適切な調整をする。
定期的な線量測定を実施し、適切な透視および撮影線量に調整する。線量設定のミスで無用な被ばくをさせないようにしなければならない。
- ⑥焦点皮膚間距離を大きくとるように実践する。
- ⑦II.およびFPDを患者に近づけるよう実践する。
⑥⑦に関連づけて述べる。患者テーブルの高さを最高位にし、II.を患者に密着させれば被ばくは最小になる。しかしそれではカテーテル操作が不自由なので、操作に支障をきたさない所まで下げることになる。術者はできるだけ高いカテーテル操作を行うことが被ばく低減につながることを意識せねばならない。または意識させなければならない。
- ⑧照射野を必要最小限に絞ることを実践する。
言うまでもないが、不必要な部位は絞ることを実践する、画質の向上につながる。
- ⑨過度のインチアップを避けることを実践する。
II.の電氣的拡大により、細かい部位の描出能が高まるが、被ばくは2倍から数倍になるため画像拡大は必要最小限に留めるべきである。
- ⑩2Gyを超えたと思われた時に一度術者に「2Gyを超えました」と声をかけ、継続する場合は撮影角度を40°変えるよう提案する(図14)。
局所で2Gyを超えると皮膚紅斑が一時的に起こりうるとされている。一度この時点で、勇気を持って「声がけ」することを提案する。同意が得られれば照射野の重なりが避けられる40°アングルを変えるように進言する。「心臓を助けることが最優先」として手技を続けることもあるであろう。それは医療行為であり、医師に責

任が生じるものの、被ばく線量と皮膚傷害について知らない循環器科医師がたくさんいるのも事実である。チームスタッフの一員として、被ばく管理には診療放射線技師が積極的に関わりをもたなければならない。

今年中には薬剤溶出ステントがPCIに利用され、循環器科医師はますます完全慢性閉塞病変をターゲットにすると思われる。そうなると2Gyを超えるPCIが今まで以上に多くなると予想される。つまり、放射線皮膚傷害という合併症について「各施設で医師と十分議論のうえ線量の基準(管理目標値)を設ける必要がある」ということである。

ここで面積線量計を用いて概算局所線量をどのように求めるかを簡単に紹介する。面積線量計の値は空気カーマであり、透視および撮影の全線量が積算され、単位は $\mu\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ 、 $\text{mGy}\cdot\text{cm}^2$ 、 $\text{cGy}\cdot\text{cm}^2$ および $\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ で表示される。面積線量計とリファレンス線量計とで線量測定し、校正係数を求める。通常、0.9~1.1の範囲内になるはずでここでは簡易的に1とする。臨床で使用する各アンギュレーションにおける患者皮膚面でのおおよその照射面積をあらかじめ求めておく。当施設では 50cm^2 としている。PCIを行っている特定方向の照射が全方向の80%、後方散乱係数を1.3と仮定する。現時点での面積線量計表示が $100\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ とすると、 $100 \div 50 \times 0.8 \times 1.3 = 2.08$ となり概算2Gyということになる。このような状況の時「声がけ」をすることを提案する

- ⑪目的に応じたプロトコールを作成し、それを実践する。

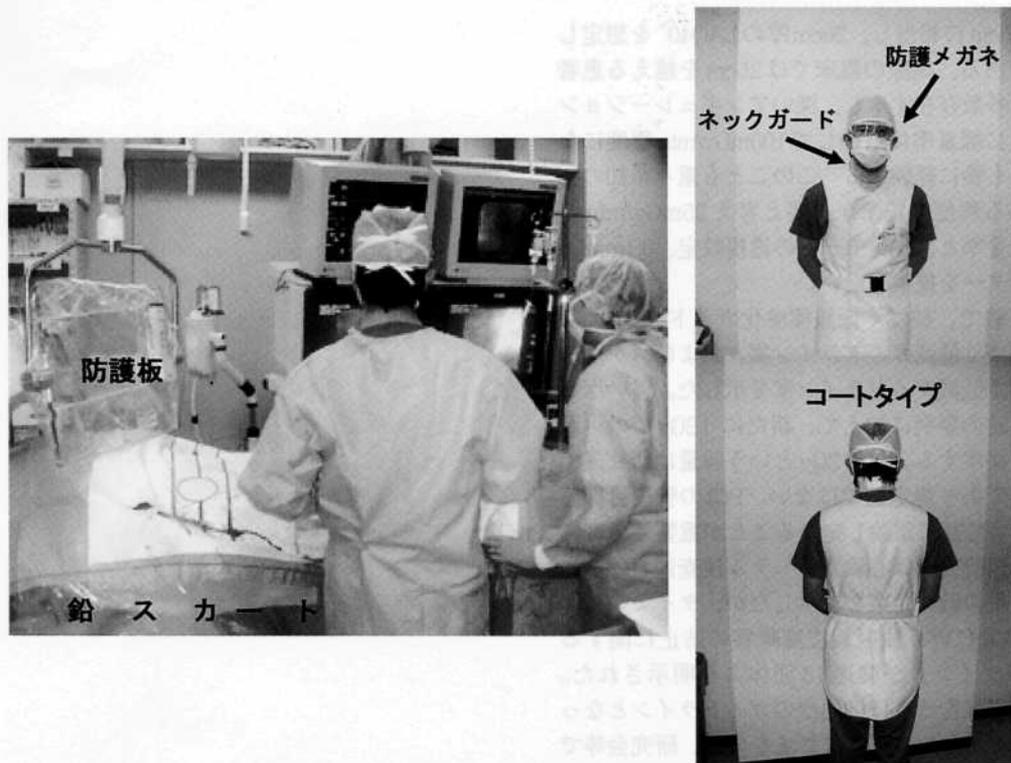


図 15 術者の防護機構と防護衣

IVRは全身に施行される。治療部位に合致したプロトコルを作成し実践する。

- ⑫継続した装置管理をする。
メーカーとは別に日常のQC、QAを実践する。
- ⑬スタッフの教育・訓練を定期的に行う。
被ばく低減、被ばく防護、放射線傷害防止等の知識を認識してもらう。

【術者の被ばく低減対策】

- ①放射線防護衣の着用（鉛当量0.25mm、コートタイプ）
- ②水晶体防護具の着用（鉛当量0.07mm）
- ③甲状腺防護具の着用（鉛当量0.25mm）
- ④遮蔽板の使用（鉛当量0.5mm）
- ⑤鉛カーテンの使用（鉛当量0.5mm（図15））

【スタッフの被ばく低減対策】

- 放射線防護三原則の周知、徹底
↓
「距離、時間、遮蔽」
- スタッフの放射線防護衣の完全着用
医師、看護師、臨床工学士、臨床検査技師、

診療放射線技師

5. 本課題研究のまとめ

「心臓カテーテル検査における透視線量および被ばく低減技術の標準化（ガイドライン化を目指して）」について、第一報にて測定Geometry、透視線量率（20mGy/min）を提案した。まとめとしてIVR基準点での測定およびIAEAのガイダンスレベルと等しい25mGy/minに修正して再提案したい。

その理由を以下に記した。

- ①測定値の平均が25mGy/minであったこと。
- ②世界標準となるIVR基準点と提案した測定点が異なったこと。
- ③IVR基準点で測定したと仮定すると、1.1倍程度増加し、28mGy/minになること。
- ④28mGy/minの平均値となるが、低減できる可能性があり25mGy/minは担保可能と予測できる。

以上が主な理由であるが、①に付記すると25mGy/minはアクリル20cm、胸厚に換算すると

23～25cmに相当し、20cm厚のLAO40°を想定した値である。実際の臨床では25cmを越える患者さんは多数存在するし、深いアンギュレーションでは更に線量率は増加して100mGy/min程度になる場合も希に経験する。このことも重々承知の上で、ある程度の基準が必要と考え25mGy/minの透視線量率と、Lowモードの透視設定、0.1mmCuフィルターを提案したい。

第二報で、被ばく低減標準化ガイドライン案、術者被ばく低減ガイドライン案、およびスタッフの被ばく低減ガイドライン案を示した。言い尽くされた感の事柄に加えて、新たに「2Gyでの声かけ」を提案する。この2Gyという線量は研究班での提案であり規定値ではない。PCIの管理目標値として各施設で議論し定めることが重要である。

本課題研究では心臓カテーテル検査における被ばく線量の低減化案を提示したが、タイミングよく、「IVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン」が関連16団体より明示された。本研究報告ともほぼ同様のガイドラインとなっている。これを基にさまざまな学会、研究会等でさらに議論が深まってゆくことを期待し報告を終える。

謝辞

課題研究の実施にあたり、貴重なデータを提供していただいた36施設の技師長および担当技師の方々、アンケートに回答していただいた回答者および全面的な協力をいただいた循環器画像技術研究会の諸兄に深謝いたします。

参考文献

- 1) ICRP Publication 85 IVRにおける放射線傷害の回避（翻訳／発行：日本アイソトープ協会），丸善（2003.6）
- 2) Medical electrical equipment-Particular requirements for the safety of X-ray equipment for interventional procedures. IEC 60601-2-43, (2000)
- 3) 全国循環器被ばく低減技術セミナーテキスト：全国循環器被ばく低減技術セミナーテキスト編集委員会，(2003.8)

課題研究報告

座 長 集 約

松山赤十字病院

水谷 宏

本課題研究は、昨年に引き続き患者および従事者の被ばく低減を目指し、ガイドラインを作成することを目的としたものである。

特にPCIにおける患者の皮膚の過剰被ばくについては1994年にFDAが報告し、翌年には日本医学放射線学会も警告を出した。しかし、その後も患者の皮膚障害が発生し、一部はTV報道され訴訟にもなったという経緯がある。このような背景から全国循環器撮影研究会としてガイドラインを作成することは非常に重要である。

本課題研究発表では、昨年の第1報のまとめを述べた後、全国のアンケート調査の結果を報告した。アンケート結果について特に注目すべき点について述べる。

第1報では、透視線量率を20mGy/min、付加フィルタを0.1mmCuとして標準化すると提案したが、13%が不適切であると反対している。画質と被ばくはトレードオフの関係にあり、施設によっては大線量を照射しても、見やすい画質で必ず短時間に終了させるという考え方も成立するとは考えるが、如何なる事態が起こっても安全なように万全の態勢で臨むためには、適切な線量となるように調整する必要がある。今回、ほとんどの施設で達成可能であり目標とする線量として20mGy/minを破棄し25mGy/minを再提案した。また、X線管の容量によっては付加フィルタを追加することが困難な装置があることも事実であると認識しているが、0.1mmの銅板を付加することによって患者の皮膚吸収線量を約30%に、0.2mmならば約50%にまで低減することができることを考えると、ぜひとも実施していただきたい項目である。患者の被ばくを低減させることは、従事者の被ばく低減にもつながるという事実を医師に伝え、コミュニケーションを取りながら線量のコントロールを行っていく必要がある。

従事者被ばくについて、装置に装着する防護用具を使用している施設が7~8割程度あり、被ばくに対する意識が高いことが示された。ただ、邪魔になるからといって放置している施設もあると

いう事も聞くことがあるので、その様な施設はこの機会にぜひ活用していただきたい。また、防護用具を活用することによって術者が身につける防護衣等も軽装備化できる。長時間に渡って重い防護衣を身につけながら手技を行うことは術者にとって大きな負担となるので、両者を併用しながら術者にとって手技を行いやすい環境を整備していかなければならない。

被ばく低減技術については、13項目を挙げて提案している。各々の項目については、我々は良く知っていることであるが、1つ1つ確認し可能な項目から実践していくことが重要である。大きな効果を得られないと思われる項目であっても、それらを積み重ねることによって結果的に大きな低減効果を得ることが可能となる。

会場から「2Gyを超えると声をかけるとあるが、心臓が止まってしまうと皮膚潰瘍が出来ようが出来まいが関係ない」という質問があった。それに対し、班長からは「今後DESを使用することになると、時間のかかるCTO等の症例が増えると考えられる。初期紅斑のしきい線量である2Gyで声をかけて照射角度を変更するなどの対策を検討することは重要である」という回答があった。また、「2Gyは面積線量計を利用する場合、総線量で良いのか」という質問には「あらかじめ、面積線量から皮膚吸収線量への換算係数を求めておき、角度ごとに集計し、最も大きな部位が2Gyになった時に声をかける」との回答があった。どちらの回答も合理的であると考えられる。

一方、声をかける線量の基準は各施設が各々の施設の事情を考慮し、独自の判断で決定されるべきである。すなわち、自らの施設ではどのくらいの線量まで許容し、それを超えた場合にはどの様な対応をするのかという戦略をたてておく必要があると考える。このことは、医師とのコミュニケーションが不可欠であり、放射線診療は肉を切らせて骨を切る部分があることを説明し理解してもらうことの重要性を示している。

アンケートに対して回答するという行為が大き

