

厚生労働科学研究費補助金（医薬安全総合 研究事業）（分担）研究報告書

放射線診療における患者と術者の安全性確保についての研究

（公募課題番号）： （14131501）

機能性色素を用いた IVR における患者被ばく線量推定の
臨床応用に関する研究

主任研究者

古井滋 帝京大学医学部放射線科教授

分担研究者

岡崎正敏 福岡大学医学部放射線科教授

中村仁信 大阪大学大学院医学系研究科生体情報医学教授

坂本力 公立甲賀病院副院長

一色高明 帝京大学医学部内科教授

石口恒男 愛知医科大学医学部放射線科教授

竹部英紀 虎の門病院放射線部技術担当副部長

諸澄邦彦 埼玉県立がんセンター放射線技術部副技師長

山口一郎 国立保健医療科学院生活環境部主任研究官

研究協力者

倉品 祐二 日油技研工業株式会社

丹羽由輝代 日油技研工業株式会社

鈴木 滋 帝京大学医学部放射線科

山岸 正文 帝京大学医学部附属病院放射線部

水野 秀之 埼玉県立がんセンター放射線技術部 物理室

研究要旨 放射線診療における患者と術者の安全性確保についての研究の一環として、本研究では Interventional radiology (IVR) における医療被ばくをリアルタイムに簡便に推計する方法として、機能性色素を用いた放射線インジケータの応用利用について検討し、このツールが臨床でも応用利用しうることを示した。

A. 研究目的

血液照射等において放射線未照射の製剤の誤使用を防ぐために放射線に感受性を持つ機能性色素を用いた線量計が従来から使われている。近年、これをより高感度にした製品が開発されつつある。これらの商品は比較的安価に線量の推計をなしえる可能性がある。また、これらの化合物は様々な形態に加工が可能であり、ビームの形状の確認など臨床の場に応じた商品開発が期待される。そこで、本研究は、これらの実態を踏まえ、IVRにおける患者の安全性を確保するために、その医療被ばくの放射線インジケータを用いた推計法を確立することを目的として実施した。

B. 研究方法

1) 放射線インジケータの基本的特性

機能性色素を用いた放射線インジケータの臨床応用の可能性を探るために、血管造影装置を使用し、放射線インジケータ (Sample A、B) の基本的な特性を調べた。

(1) 線量応答

同じ線量率で時間を変化させ放射線インジケータに与える線量を変化させ、その着色の変化を観察し、日油技研工業 川越工場で色彩色差計により計測した。また、一般に用い

られているカラーレスキャナーおよび画像処理ソフトウェア (Photoshop LE-J for Macintosh) を用い ADC (Analog-Digital-Conversion) されたデータを解析した。さらに頭部 IVR における臨床応用の可能性を探るために、放射線インジケータを貼り付けるための帽子を作成し、頭部ファントムに被せ X 線を照射し応答を確認した。

(2) 線量率特性

撮影と透視で線量を段階的に変えて照射し、着色の違いがあるか調べた。なお、紫外線や温度や退色の影響は、既存のデータを参照した。また、基準線量計は OSL 線量計を用いた。

(3) 角度依存性

以下の配置で Mix-DP のファントムを 10cm に重ね放射線インジケータの位置で空気カーマとして 0.25Gy、0.5Gy、1.0Gy になるように通常の臨床条件で放射線を照射し、変色の違いを観測した。なお、基準となる線量は長瀬ランダウア社の OSL 線量計の測定値により値付けした。

- 1) 天板に水平 (X 線の線束に対しては直角) を 0 度
- 2) 天板に対して 30 度
- 3) 天板に対して 60 度
- 4) 天板に直角 (X 線の線束に対しては平行) を 90 度

(4) エネルギー依存性

照射サンプル Sample A、Sample B を用い、日油技研工業(株)川越工場において、X 線照射装置 MBR-1520A-2(株)日立メディコ製)を用い、1.0mm アルミニウムフィルターを附加し、管電流 20mA、管電圧を、50kV、75kV、100kV、125kV、150kV の5種類とし、設定照射線量を 0.25Gy、0.5Gy、1Gy、2Gy の4種類として試験した。なお、この試験において照射線量は照射装置に設置されている電離箱式線量計で確認した。本線量計は、東洋メディテック社製であり(財)日本品質保証機構保有の国家標準とトレーサブルな中硬 X 線用電離箱を基準とした校正がなされている。照射後、サンプルの視認性を確認し、色彩色差計を用いて、相対応答レスポンスを算出した。

2) 臨床での患者被ばく線量推計

臨床における患者被ばく線量を推計するために、放射線インジケータ(Sample A、B)を患者背部の検査寝台上に5cm 間隔で配置し、経カテーテル動脈塞栓術(TAE)における放射線インジケータの色素変化を調べた。

また、作成した放射線インジケータ貼り付けよう帽子を用い、頭部 IVR 術を施行された患者の部位別皮膚吸収線量の推定を試みた。

C. 研究結果

1) 放射線インジケータの基本特性

(1) 線量応答特性

透視時における線量応答結果を図1に示す。I. I. サイズは12インチ固定とし、被射体として Mix-Dp20cm を用いた。その時の透視条件は85kV、2.2mA であった。Sample A よりも Sample B のインジケータが色素変化は明瞭で、200mGy で色素変化を認めた。

(2) 線量率応答特性

また撮影時における線量応答結果を図2に示す。透視時と同様、Sample A よりも Sample B のインジケータが色素変化は明瞭で、200mGy で色素変化を認めた。また、撮影と透視での応答には違いはなかった。

(3) エネルギー特性および総合特性

事前に日油技研工業で実施した血液用 X 線照射装置を用いた照射試験では、管電圧を50~150kV に変化させたところ、変色応答の違いは最大でも20%であった。

透視時と撮影時における線量応答を色彩色差計により測定した結果を図3に示す。また、スキャンした画像を色差計で ADC (Analog-Digital-Conversion) したデータを元に線量応答を調べた結果を図4に示す。

図3,4に示すように低線量域では、着色変化-線量は多項式で示され、近似式の当てはまりも比較的良好であった。1Gy程度の線量を推定するのであれば、他の条件がよければ一次関数で推定した場合であっても、基準場の不確かさを無視した場合には、不確かさを10%程度におさまるものと推定された。ただし、検量線を外挿し、高い線量を推計する場合には、この不確かさが大きくなるものとも思われた。

(3) 角度依存性

肉眼では角度を付けると応答が低下することが確認された。また、色彩色差計を利用し、ADCして得られたデータを図5に示す。0.25Gy、0.5Gy、1.0Gyいずれの照射においても、60度よりも角度を付けると明らかに応答が低下することが確認された。しかし、その程度は、角度を付けない0度の照射での応答を1にした場合、60度でも0.8以上の応答を示し、実用上はほとんど問題がないと考えられた。

放射線インジケータの変色は化学反応に基づくため概ねインジケータへのエネルギー付与密度に依存すると考えられる。この依存の程度は、放射線のエネルギーによっても異なるが、診断X線領域ではインジケ-

ータ・エレメントを構成する元素の原子番号が比較的小さく、大きいものでも原子番号が60を超えないこともあり、その影響は比較的少ないと考えられる。事実、管電圧を変えた試験照射の結果でも応答の差異は小さかった。また、Sample Bの厚み依存を調べると、インジケータの厚みを2倍にしても色差の向上は約1.2倍程度に過ぎず、インジケータへのエネルギー総付与よりも単位体積あたりに与えるエネルギーがより変色に寄与するものと考えられる。さらに、色彩色差計や目視では表面状態での評価が現れやすいため、表面における単位面積あたりの線量の方が観測されやすいと考えられた。このように、角度によって検出器自身の厚みが見かけ上、増したとしてもそれがそのまま応答には関係せず、表面における単位面積あたりの線量の方が観測されやすいことが角度依存性として現れたと考えられた。

いずれにしても、放射線インジケータに対し水平に入射する放射線に対しては感度が半分程度になるため、臨床利用においてはできるだけ患者に入射するビームに対し垂直になるよう利用することが望まれる。ただし、30度程度までの角度であれば応答にほとんど変化がないために実用には十分耐えられると考えられた。

(4) エネルギー依存性

設定照射線量と実測照射線量

表 1 に、管電圧を変化させた場合の設定線量と電離箱線量読み取り線量の関係を示す。管電圧が上昇するに従って、設定線量よりも照射線量がわずかに大きくなる傾向がある。

一方、インジケータの応答は、ほぼフラットではあるが、管電圧の増加によってわずかに応答が大きくなる傾向が見られた。

2) 臨床における患者被ばく線量推計法

放射線インジケータ (Sample A、B) を患者背部の検査寝台上に 5 cm 間隔で、上段に Sample A を、下段に Sample B を組み合わせて配置し、TAE 施行時の透視時間、撮影回数等の詳細を記録した。

患者被ばく線量を推計した評価例を図 6 (3/5 の会議資料を挿入) に示す。本 IVR 症例の透視時間は 22.7 分、撮影 7 回、CT 5 回を施行し、透視及び撮影等の積算から計算した患者背部の入射表面線量は 830mGy であり、放射線インジケータ (Sample B) から推計する被曝線量は 900mGy であった。

また、頭部 IVR において試作した帽子に 28 個のインジケータを貼り付

けて試験使用したところ、そのうち 11 個で変色が確認された。また、このうち 4 箇所では 3Gy を超えていることが発色の程度から推測され、その結果は TLD を用いた測定結果とほぼ一致した。

D. 考察

Interventional radiology (IVR) といわれる放射線診療手技は、患者への負担が比較的小さく侵襲の少ない治療方法である。カテーテルなど使用器具の発達や専用の X 線撮影装置が普及しはじめた 1980 年代前半よりわが国でも頻繁に施行されるようになり、その手技が様々な疾患の治療にも応用されるようになり大きな成果を上げている。

一方、IVR の普及に伴い IVR 施行後の患者における放射線障害に関する報告が散見されている。放射線診療の実施にあたって患者被ばくの予測やその確認は重要である。とりわけ IVR では、患者に照射する放射線量が比較的大きく、また、その手技が繰り返し実施されやすいという性格を持つため、患者被ばくをより正確に推測することが重要と考えられるが、これまで IVR の各手技における医療被ばくに関する報告は十分ではなく、日常臨床で利用できる線量推計法も

確立していない。

現在、臨床で使用されているのは、面積線量を測定する透過型（電離箱）線量計と患者に検出器を貼り付ける半導体検出器やシンチレーション検出器を持つ計測器である。前者は、患者の実効線量の推計にはある程度有用であるが、皮膚における最大の吸収線量部位の線量を推計するには、照射条件の把握が欠かせず、線量計単独で設置する意義は少ない。また、装置出力のQC・QAのツールとしては、その変動は幅広い応答を示すことから術者や作業環境測定でも利用できると考えられる金属酸化物半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)検出器を持つDIS(Direct Ion Storage)線量計など他の方法でもある程度把握可能と考えられ、その目的として使用することの意義も十分とは言えない。一方、後者は、貼り付けた部位のビームの強度やあるいはその部位付近の吸収線量を精度よく推計できるが、循環器領域でのPCIなどでは、照射のジオメトリイが手技中に大きく変化し、照射野の重なり部分の線量が高くなることもあるなど、それのみで皮膚における最大の吸収線量部位の線量を推計するのは困難である。また、素子を患者に直接貼り付けるために、衛生上の作業も伴うため、線量計の普及の程度に比べ、臨床で

の活用は十分とは言い難い現状にあると考えられる。今回開発した放射線インジケータは、線量によって発色が異なる性質を利用したものであり、より直感的に線量の大きさが把握できる特徴を持つ。機能性色素は蛍光色素を組み合わせた線量計やプラスチック線量計やガラス線量計と同様に優れた可塑性を持ち、加工による応用利用の範囲が広い。布形状にも加工可能であり、患者の検査着に埋め込むことにより、極めて簡単に線量が推計できる可能性がある。また、市販された場合の価格も、原材料や品質管理面などへのコストが不確定であるものの、一枚あたり数百円程度にとどめられると予想されるなど比較的安価であることから臨床での利用のハードルも低いと考えられる。

また、発色応答の信頼性については、数日間内での利用で、低い線量域での応答の違いを調べるのでなければ、X線診療室内の紫外線曝露による補正も特に必要がないものと考えられた。また、患者の体温による影響も考慮する必要がないものと考えられた。さらに、線量率特性、エネルギー特性、方向依存性については、臨床での使用に十分に耐えうるものと考えられた。ただし、より正確には、放射線インジケータが示す

線量の定義を決定した上で、放射線インジケータを使用する臨床条件と近い校正場を設定し精度を検証する必要があるとも考えられる。

一方、放射線インジケータの利用による放射線診療への影響については、透視や撮影で、放射線インジケータを画像上ではほとんど確認はできず、放射線インジケータの使用が日常臨床での妨げにはならないものと考えられた。また、患者への放射線インジケータの装着は、今回開発したような紙製の帽子のようなツールを利用すると、容易にできるために、従事者の負担も大きくないと考えられた。

今後は、さらにサイズを大きくしたり、三次元的にインジケータを配置するなどの工夫により、高線量領域を外すことなく患者の皮膚吸収線量の二次元分布を推計できるだけでなく、さらに、取扱いを容易にできる可能性があるものと考えられた。また、放射線治療におけるビーム形状確認などの応用利用の可能性も考えられる。一方、これらの線量確認ツールは、放射線障害の防止には有益であるものの、適切な教育がないままに使用した場合に、比較的軽微な放射線リスクを過大に評価し、本来継続すべき放射線診療の継続が妨げられるなどの不利益を生じる危険

性も考えられる。このため、さらに基礎的な特性確認を進めるとともに、患者への診療の質の向上の観点での有効性確保のための検証も課題になると考えられる。

E. 結論

機能性色素を用いた放射線インジケータは、0.5Gyを超えると明らかな着色が認められ、IVRにおける患者被ばくの指標としては満足できる性能を持つ。本インジケータは、比較的 low 価格で供給できる可能性があり、照射条件を活用した患者被ばく線量推計法等に比べ手軽に実施できる利点を持つ。このため、適切に活用すると IVR における放射線防護に役立つと考えられる。

謝辞

本研究実施にあたり、測定に協力頂いた患者の皆様や各医療機関の医療従事者に深く感謝申し上げます。

F. 健康危険情報 なし

G. 研究発表

1. 論文発表

2. 学会発表

諸澄邦彦、山口一郎、倉品祐二、丹羽由輝代. 機能性色素を用いた IVR における患者被ばく線量の推定. 日本放射線安全管理学会第 2 回学術大会 ; 2003. 12. 3-5 : つくば市、日本放射線安全管理学会第 2 回学術大会予稿集. (つくば市 : 日本放射線安全管理学会 ; 2003) P. 40

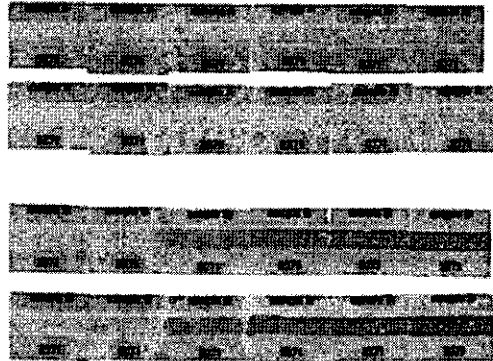
A paper cap with radiation-sensitive indicators using functional dyestuff attached for

skin dose monitoring during neuro-interventional procedures. the Annual CIRSE meeting CIRSE 2004, September 25-29 2004 at Barcelona, Spain. (submitted)

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得 なし
2. 実用新案登録 なし
3. その他 特記事項 なし

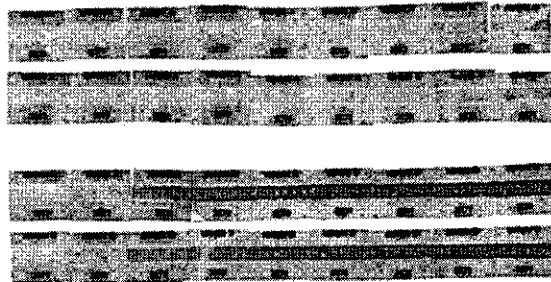
図表



透視時間 6 12 23 34 45 60

図1：透視時における線量応答結果

(I. I. サイズ 12 インチ, ファントムは Mix-DP 20cm を使用、管電圧 85kV、管電流 2.2mA で照射した。6 分間の照射は約 100mGy となるため、60 分間の照射で約 1Gy となる)



曝射回数 3 6 12 18 24 30 36 45 60

図2：撮影時における線量応答結果

(I. I. サイズ 12 インチ, ファントムは Mix-DP 20cm を使用、管電圧 85kV、管電流 2.2mA で照射した。3 回の照射は約 100mGy となるため、30 回の照射で約 1Gy、60 回の照射で約 2Gy となる)

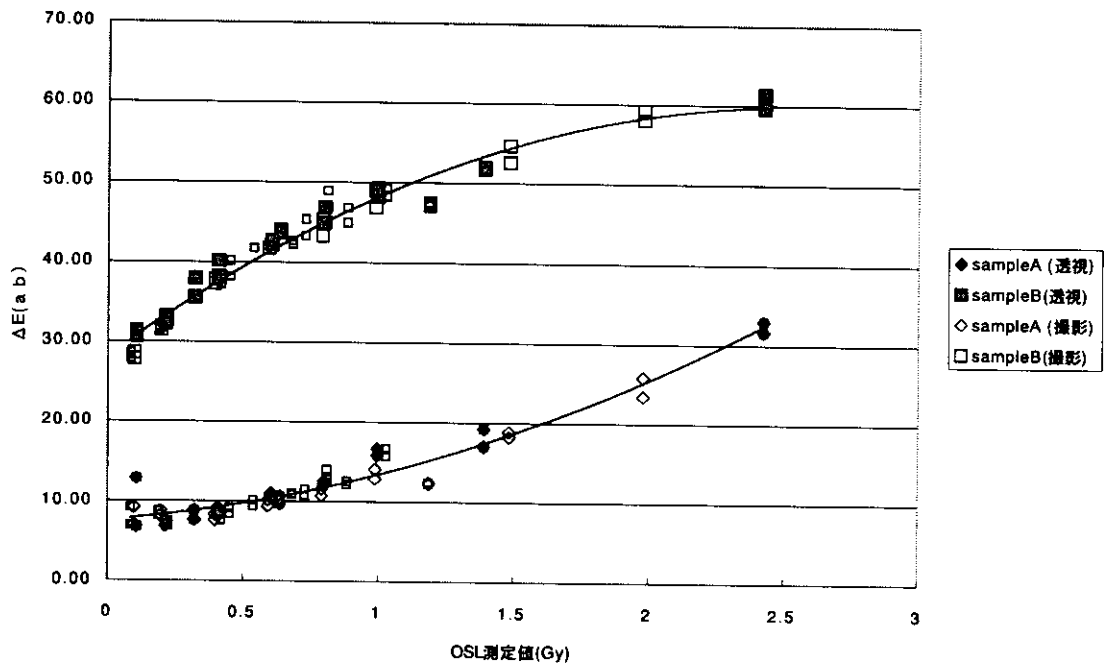


図 3 : 透視及び撮影時における色差測定結果

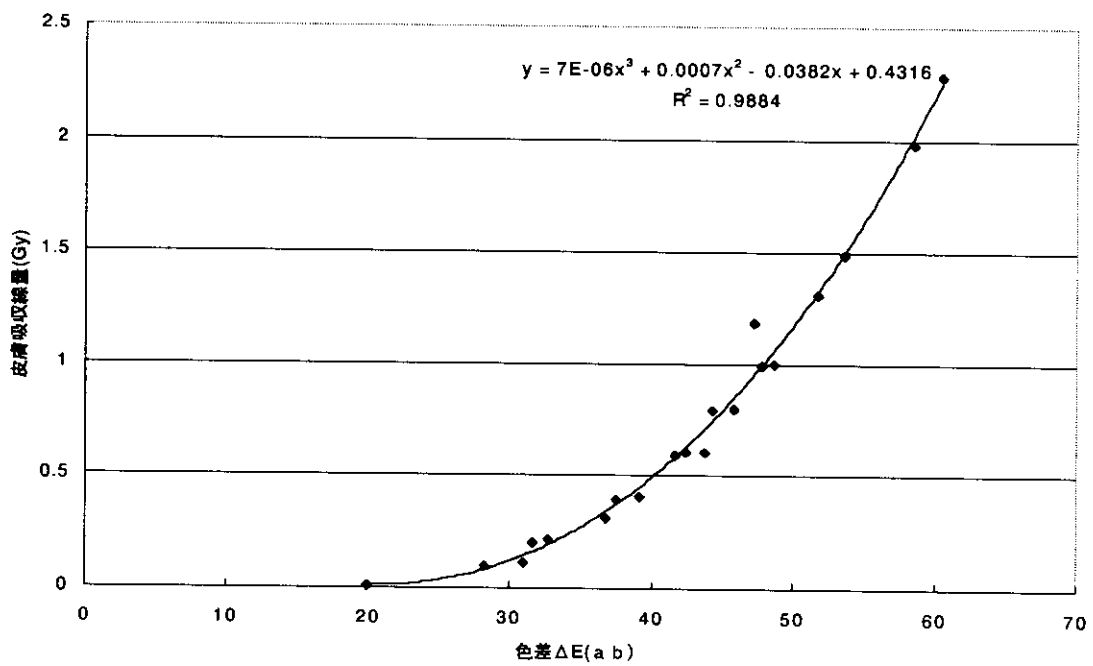


図 4 : 放射線インジケータ (Sample B) の線量応答 - 色差計 ADC 値

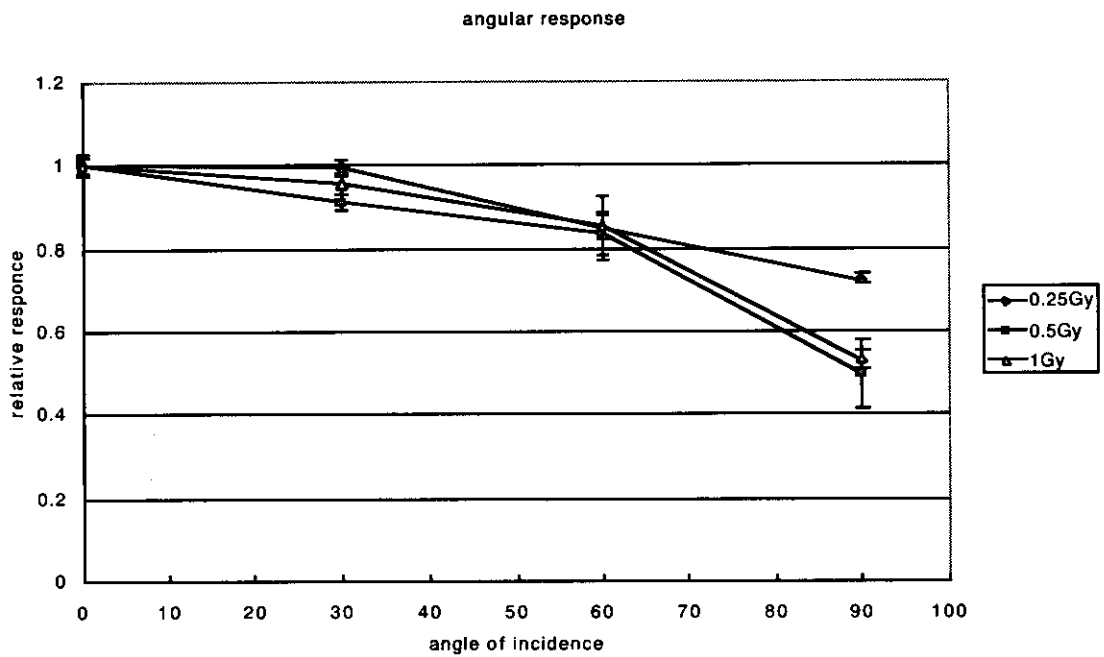


図5：角度依存性（エラーバーは標準偏差，n=2）

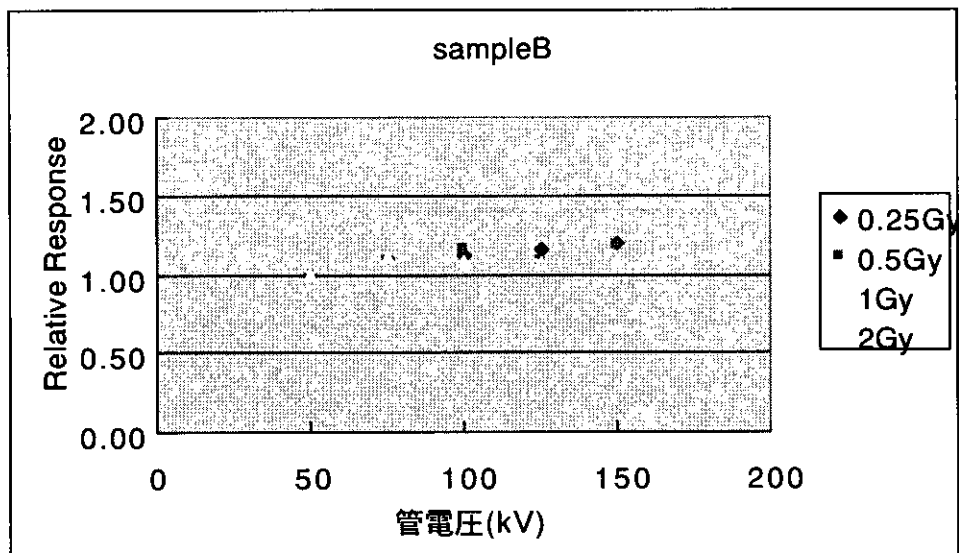


図5：エネルギー依存性

*管電圧 50kV を基準とした。

表 1 管電圧を変化させた場合の設定線量と電離箱線量計読みとり

管電圧 設定照射線量	50kV	75kV	100kV	125kV	150kV
0.25Gy	0.26	0.27	0.27	0.28	0.29
0.5Gy	0.51	0.52	0.53	0.53	0.54
1Gy	1.01	1.02	1.03	1.03	1.04
2Gy	2.01	2.02	2.03	2.03	2.04

厚生労働科学研究費補助金（医薬安全総合 研究事業）（分担）研究報告書

放射線診療における患者と術者の安全性確保についての研究

（公募課題番号）： （14131501）

IVR における患者被ばくに関する研究—エネルギー補正を加えた再検討

分担研究者

古井滋 帝京大学医学部放射線科教授
岡崎正敏 福岡大学医学部放射線科教授
中村仁信 大阪大学大学院医学系研究科生体情報医学教授
坂本力 公立甲賀病院副院長
一色高明 帝京大学医学部放射線科教授
石口恒男 愛知医科大学医学部放射線科教授
竹部英紀 虎の門病院放射線部技術担当副部長
諸澄邦彦 埼玉県立がんセンター放射線技術部副技師長
山口一郎 国立保健医療科学院生活環境部主任研究官

研究協力者

山内禎祐 帝京大学医学部放射線科助教授
早川登志雄 日本医療画像システム工業会法規・経済部長
鈴木 滋 帝京大学医学部放射線科
山岸 正文 帝京大学医学部附属病院放射線部
山口 和也 大阪大学医学部附属病院放射線部
松本 邦博 福岡大学医学部附属病院放射線部

研究要旨 放射線診療における患者と術者の安全性確保についての研究の一環として、本研究では Interventional radiology(IVR)における医療被ばくの実態を把握するための研究を行った。本研究の対象とした IVR 手技は、頭部領域の脳血管性病変に対する塞栓術、心臓領域の経皮的冠動脈インターベンション (percutaneous coronary intervention: PCI)、腹部領域の転移性肝腫瘍の治

療を目的とした肝動注カテーテル留置術である。これらの手技における患者の被ばくを推定するために、TLD素子を用いてX線入射面における70 μm線量当量を測定し、エネルギー補正を行って皮膚吸収線量を推計した。X線入射皮膚面の吸収線量の最大値は、脳血管塞栓術を行った12例で122~1353mGy（平均569mGy）、PCIを行った11例で31~869mGy（平均223mGy）、肝動注カテーテル留置術を行った14例で4~2675mGy（平均671mGy）であった。この結果から、これらのIVRでは1回の手技で1Gyを超える皮膚被ばくがある場合があることが示され、1回の被ばく線量が多い症例や、繰り返し手技を受ける症例では皮膚に確定的影響（紅斑、脱毛、潰瘍など）を生じ得ると考えられた。

A. 研究目的

Interventional radiology(IVR)といわれる放射線診療手技は、患者への負担が比較的小さく侵襲の少ない治療方法である。カテーテルなど使用器具の発達や専用のX線撮影装置が普及しはじめた1980年代前半よりわが国でも頻繁に施行されるようになり、その手技が様々な疾患の治療にも応用されるようになり大きな成果を上げている。

一方、IVRの普及に伴いIVR施行後の患者における放射線障害に関する報告が散見されている。放射線診療の実施にあたって患者被ばくの予測やその確認は重要である。とりわけIVRでは、患者に照射する放射線量が比較的大きく、また、その手技が繰り返し実施されやすいという性格を持つため、患者被ばくをより正確に推測することが重要と考えられ

るが、これまでIVRの各手技における医療被ばくに関する報告は十分ではなく、その線量推計法も確立していない。このため、日本血管造影・インターベンショナルラジオロジー学会放射線防護委員会は、標準的な肝動脈塞栓術(Transcatheter arterial embolization: TAE)における多施設実態調査を実施するなどその実態把握に努めている。

本研究は、これらの実態を踏まえ、IVRにおける患者の安全性を確保するために、その医療被ばくの実態を明らかにすることをその目的として実施した。

なお、本研究で対象としたIVR手技は、これまでその医療被ばくの実態があまり示されていなかった、頭部領域の脳血管性病変に対する塞栓術、心臓領域の経皮的冠動脈インターベンション(percutaneous coronary intervention: PCI)、腹部

領域の転移性肝腫瘍の治療を目的とした肝動注カテーテル留置術である。

B. 研究方法

2002年8月～2003年2月に、分担研究者が所属する4カ所の病院において、各IVR手技対象疾患により入院した患者37例（虎の門病院13例、大阪大学8例、帝京大学11例、福岡大学5例）を対象とした。このうち、①脳血管塞栓術症例は12例（男性2例、女性10例、年齢20～70歳代、平均53歳）、②PCI例は11例（男性9例、女性2例、年齢30～70歳代、平均62歳）、③肝動注カテーテル留置術症例は14例（男性8例、女性6例、年齢50～80歳代、平均69歳）であった。患者の体格を表に示す。

被ばく線量測定には、人体構成元素と比較的原子量が似ていることからフッ化リチウム熱蛍光線量計（米国Harshaw社製TLD100）を用いた。読取装置は、Harshaw2000Bおよび2000Dを用いた。

TLD素子は3個1組とし、各手技において最も線量が高くなると推定される部位を含め、各3カ所に貼り付けた。すなわち、心臓IVR患者の被曝線量測定は左側肩甲骨の下角を基準として、3横指左（5cm外側）と3横指右（5cm内側）の3箇所

とした。頭部は、後頭部、右側頭部および眼の水晶体の被曝線量を推定するために前額部とした。腹部は、Th12-L1中心、上腹部の肝右葉のそれぞれ体の後面および左鎖骨部の背側の背面とした。測定対象線量はファントムを用いた方向性70 μ m線量当量[Hp(0.07)]であり、血管造影装置のX線の実効エネルギーを40keVとしてエネルギー補正を行い、皮膚吸収線量を推計した。

（倫理面への配慮）

放射線測定は測定趣旨を患者に説明し同意を得て行った。また、解析にあたっては患者を特定できる情報を全て削除した。

C. 研究結果

対象患者の基本属性の集計結果を表1～3に示す。

①脳血管塞栓術における患者被ばく

総透視時間は8～121分（平均59分）であった。患者毎の被ばく線量を表4に示す。DSA撮影回数は9～41回（平均34回）、総フレーム数は、147～2222回（平均803回）であった。各患者のX線入射面における線量最大点の吸収線量は、122～1353mGy（平均569 \pm 367mGy）であった。

部位別では、右側頭部の吸収線量は、65～1353mGy（平均412mGy）

であった。後頭部の吸収線量は、107～888 mGy（平均 430 mGy）であった。前額部の吸収線量は、9～67 mGy（平均値 30 mGy）であった。

②PCIにおける患者被ばく

1 症例あたりの対象拡張血管は1～3本（平均 1.6本）であった。1例あたりの総透視時間は5～112分（平均 28分）、撮影シーン数は13～59回（平均 30回）であった。また、撮影総フレーム数は781～3536回（平均 1877回）であった。

患者毎の被ばく線量を表5に示す。PCIにおける各患者のX線入射面における線量最大点の吸収線量は、31～869 mGy（平均 223 ± 272 mGy）であった。

部位別では、左側肩甲骨の下角の吸収線量は、30～542mGy（平均 166 mGy）であった。外側は23～869 mGy（平均 204 mGy）であった。内側は11～619 mGy（平均 117 mGy）であった。

③肝動注カテーテル留置術における患者被ばく

1例あたりの合計透視時間は4～120分（平均 37分）、撮影シーン数は3～19回（平均 7.5回）であった。患者毎の被ばく線量を表6に示す。各患者のX線入射面における線量最大点の吸収線量は、4～2675 mGy（平均 671 ± 827 mGy）であった。

部位別では、左鎖骨背面部の吸収線量は、1～53 mGy（平均 15 mGy）であった。上腹部の肝右葉は3～816 mGy（平均 250 mGy）であった。Th12-L1 中心は4～2675 mGy（平均 671 mGy）であった。

D. 考察

心臓領域のPCI、腹部領域の肝細胞癌に対する動脈塞栓術や転移性肝腫瘍に対する肝動注カテーテル留置術、脳血管性病変に対する塞栓術など、IVRと呼ばれる放射線診療手技は、治療効果が高く患者への負担が比較的少ない、低侵襲の治療法として発展している。IVRは1970年代のよりわが国でも頻繁に施行されるようになり、大きな成果を上げている。しかし、その一方、IVRの普及に伴って長時間のIVRを行った症例の放射線皮膚炎に関する報告が散見されるようになり、対策が求められている。

IVRはX線透視下に手技を行う。このため、X線画像検査に比べて皮膚被ばく多なり、長時間にわたる手技では皮膚に確定的影響（紅斑、脱毛、潰瘍など）を発現させる可能性がある。さらに、同一の患者に繰り返しIVR手技を行う場合があるため、被ばくの蓄積によって皮膚に変化が起こる可能性がある。

IVR に伴う患者の皮膚被ばくについて、FDA の勧告では、皮膚吸収線量が1 Gy 以上の場合に最大線量およびその範囲を記載する必要があるとしている。

脳血管塞栓術、PCI、肝動注カテーテル留置術における患者被ばくについての今回の実測調査では、脳血管塞栓術を行った12例中1例と、肝動注カテーテル留置術を行った14例中3例で、X線入射皮膚面の最大吸収線量が1 Gy を超えていた。また、このうちで肝動注カテーテル留置術を行った2例では同値が2.7 Gy と2.1 Gy であり、これらは一過性紅斑の閾値(2 Gy)を超えていた。

IVR に伴う皮膚被ばくが1 Gy を超える場合があることは過去の報告に示されている。Kuwayama らによる頭頸部領域の血管塞栓術15例の検討では、側頭部の皮膚被ばくは平均 2.4 ± 1.9 Gy であり、9例で1 Gy を超えていた。また、Hwang らによれば、PCI を行った35例の皮膚被ばくは 1021 ± 674 mGy であった。

以上のようにIVR ではX線入射皮膚面の皮膚被ばくが多い場合があることから、手技を行う際には放射線障害を防止や軽減のための措置を講じる必要がある。ICRP(国際放射線防護委員会)は、Pub. 85において、患者被曝を低減させるための具体的

な行動として、以下を勧告している。

- X線ビームを出す時間を最小にする(患者被曝と術者被曝を低減させる基本原則)。
- 線量率が大きいと積算線量が速く大きくなることに留意する。
- 管電流をできるだけ下げ、管電圧をできるだけ高く保ち、画質の維持と患者被曝のバランスを保つ。
- X線管を患者からできるだけ遠ざける。
- I.I.を患者にできるだけ近づける。
- I.I.の拡大機能を過度に使わない。
- 小柄な患者やI.I.を患者に近づけられない場合には、グリッドの使用を避ける。
- X線ビームを関心領域に絞る。
- 予定外に手技が長引く場合には、患者やX線ビームの入射位置を変え、特定部位の皮膚吸収線量が高くなるようにする。

前述のように、FDA の勧告では皮膚吸収線量が1 Gy 以上の場合に最大線量およびその範囲の記載の必要があるとしている。しかし、被ばく線量の推定・測定方法はいくつかあるものの、皮膚の最大吸収線量とその範囲を正確に把握する方法は確立していない。最近では、照射線量が表示される装置も少なくないが、照射部位についての情報が加味されていないため、正確な被曝線量の把握は

困難である。今後、より正確で簡便な線量測定法が開発され普及することが望まれる。また、IVRの術者は、自らが行う手技での標準的な皮膚被ばくの量や、使用するX線装置の透視の線量率、DSA1フレームあたりの線量などを把握しておく必要があると思われる。また、IVRを行った際に、皮膚被ばくが多いと判断される場合には、最大線量およびその部位を記載することに加えて、皮膚障害の発生に十分注意を払った上での経過観察が必要である。

E. 結論

IVRでは1回の手技で1Gyを超える皮膚被ばくがある場合があり、1回の被ばくが多い場合や、繰り返し手技を受ける場合には皮膚に確定的影響を生じ得る。IVRの手技は繰り返し実施する頻度が高いことから、手技に伴う被ばく線量を記録すべきであり、その方法を確立する必要がある。また、透視や撮影の時間や回数を減らす、照射条件や方向を工夫するなどの方法で被ばく線量の低減に努めることも重要と考えられた。

謝辞

本研究実施にあたり、長瀬ランダウア社に線量素子の読みとりを行っ

て頂くとともに、小林育夫技術部長より指示値の補正法について技術的なご助言を頂いた。

F. 健康危険情報 なし

G. 研究発表

1. 論文発表
2. 学会発表

山口一郎、古井滋、岡崎正敏、中村仁信、坂本力、石口恒男、竹部英紀、諸澄邦彦. IVRにおける患者被曝その低減策の検討. 第15回関東IVR学会. 2003年7月

山岸正文、真田茂、古井滋、岡崎正敏、中村仁信、坂本力、石口恒男、竹部英紀、諸澄邦彦、山口一郎. IVR実施4施設における患者の被曝線量.

日本放射線技術学会第31回秋季学術大会. 2003年10月

真田茂. IVRにおける患者の被曝線量測定に関する基礎的検討. 日本放射線技術学会第31回秋季学術大会. 2003年10月

上田規靖、諸澄邦彦、山口一郎. モンテカルロ法を利用した皮膚表面線量計算プログラムの有用性の検証.

日本放射線技術学会第31回秋季学術大会. 2003年10月

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得 なし
2. 実用新案登録 なし
3. その他 特記事項

表 1. 被曝線量計測対象患者の基本属性 (年齢)

性別	集計項目	頭部	心臓	腹部	全体
女性	平均	54	56	68	59
	最大値	76	74	80	80
	最小値	27	38	50	27
	人数	10	2	6	18
男性	平均	47	63	70	65
	最大値	53	72	80	80
	最小値	40	50	58	40
	人数	2	9	8	19

表 2. 被曝線量計測対象患者の基本属性 (身長)

性別	集計項目	頭部	心臓	腹部	全体
女性	平均	156	145	152	153
	最大値	165	151	160	165
	最小値	148	139	145	139
	人数	10	2	6	18
男性	平均	160	162	162	162
	最大値	165	172	170	172
	最小値	155	153	155	153
	人数	2	9	8	19