

厚生労働科学研究費補助金 地域医療基盤開発推進研究事業
「医療放射線の安全確保と有効利用に関する研究」
(H22-医療-一般-027) (主任研究者：細野眞)

分担研究報告書「エックス線診療室等のしゃへい評価法に関する研究」

分担研究者 山口 一郎 国立保健医療科学院生活環境部 環境物理室長

研究協力者 小高喜久雄 国立国際医療研究センター病院 放射線診療部
渡邊 浩 横浜労災病院 中央放射線部
堀越亜希子 日本メジフィジックス株式会社
池渕 秀治 社団法人日本アイソトープ協会
柳田 幸子 社団法人日本アイソトープ協会

研究要旨

[目的] 本研究は、医薬発第 188 号通知（平成 13 年 3 月 12 日）のエックス線診療室における漏えい線量の評価に関わる諸因子（エックス線焦点から利用線錐方向の 1 メートルの距離における単位実効稼働負荷あたりの空気カーマ、エックス線の透過率、散乱係数等）を、最近のエックス線装置で見直す必要があるかどうか検討した。

[結果] NCRP Report No.147「Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities（医療エックス線撮像施設に関する構造しゃへい設計）」(2004)の算定評価に用いられる諸因子（①一次エックス線の線量率（空気カーマ率）。②一次エックス線等のしゃへい体（鉛、コンクリート、鉄、ガラス、石膏、木材）での透過割合。③ 散乱係数。④ しゃへい体透過後に硬くなったエックス線のしゃへい体に対する半価層及び 1/10 価層。）は、最近のエックス線装置の漏えい線量の実測に基づいて構築されており、医療の実態に即した合理的な評価が可能であることが示唆された。

[結論] 医薬発第 188 号通知の「(六) 線量等の算定等」に NCRP 147 の諸因子を取り入れることは適切と結論される。

A 緒言

平成 13 年の医療法施行規則改正において、エックス線装置等の基準を国際電気標準会議 (IEC) 勧告取り入れにより国際基準に引き上げた。これに対して、エックス線の線量評価等にかかる諸因子（空気カーマ、エックス線の透過率、散乱係数等）についても国際的整合性を図ることが求められた。検討の結果、エックス線およびガンマ (γ) 線のしゃへいならびに関連の線量評価に関するデータに関して、米国放射線防護測定審議会 (National Council on Radiation Protection and measurements (以下、「NCRP」とい

う。)) 勧告は、世界的に高い評価を受けており、また、NCRP Report No.34 (1970)¹⁾、NCRP Report No.49 (1976)²⁾ (以下、「NCRP 49」という。)と時代に対応した改訂が行われ、メンテナンスが充実していることを踏まえて、平成13年の医療法施行規則の一部改正において、当時の直近バージョンであったNCRP 49及びNCRP Report No.102(1989)³⁾を採用することが適当とされた(平成11年度厚生科学研究費補助金(主任研究者 古賀祐彦))¹⁵⁾。

NCRP 49のエックス線のしゃへいに係るデータは、鉛とコンクリートのみであった。そのため、医薬発第188号通知のエックス線装置のしゃへいに係る透過率等のデータは鉛とコンクリートに限定された。

2004年にNCRPは、Simpkinら⁶⁻⁸⁾、Legareら⁹⁾、Archerら¹⁰⁾、Dixon¹¹⁾、TroutとKelly¹²⁾のエックス線装置の新しい実測データにより構築された、しゃへい評価に関する勧告を行った(NCRP Report No.147(以下、「NCRP 147」と略す。))⁴⁾。

NCRP 147では、エックス線焦点から利用線錐方向の1メートルの距離における単位実効稼働負荷あたりの空気カーマ、透過率および散乱係数を求める近似関数式を作成して、この近似関数式を用いることによって、エックス線の漏えい線量の算定評価が一般の表計算ソフトにより平易に計算することを可能にした。また、この近似関数式で得た諸因子の値は、管電圧5kV間隔で空気カーマ透過率等が得られることから、補間法等に依存しない簡便でかつ汎用性の高い算定法を可能にしている。さらに、従来のしゃへい体の透過率、半価層及び1/10価層は、鉛、コンクリートに限定されていたが、NCRP 147では、鉄、ガラス、石膏と木材が追加され、これまでのしゃへい評価で対象とされていない鉄扉やガラスによる効果、そして、建築面で近年多く使用されている石膏も適用できるようになり、エックス線診療施設の実態に即した合理的な線量評価が行えるようになった。

本研究においては、エックス線診療施設のしゃへい評価法に係る医薬発第188号通知を再評価し、わが国の医療現場の実態に即した医療放射線の安全確保を目的とし、また、医療経済効果に資することも考慮して検討を行った。

B 方法

平成21年度の研究成果¹⁶⁾を踏まえて、医薬発第188号通知「(六)線量等の算定等」のエックス線診療施設のしゃへい評価に係る計算式および関連パラメータについて、NCRP 147のデータ解析等に関する検討を行った。

C 結果および考察

(1) 空気カーマ

NCRP 147においては、しゃへい体がない場合の空気カーマは、SimpkinとDixon⁶⁾の利用可能な任意の管電圧[kV]に対するデータを使用することを前提にして勧告され

ている。このデータは、Archer ら¹⁰⁾のエックス線装置から利用線錐方向1メートルの距離における種々の管電圧において測定された空気カーマにより構築した多項式 ((1) 又は(2)) から導き出されている。

- ・ タングステン陽極管にアルミニウムフィルタを付加したエックス線管の場合

$$X_w(\text{kV})=1.222-0.05665\text{kV}+0.001227\text{kV}^2-3.136\times 10^{-6}\text{kV}^3 \text{ (mGy/mA}\cdot\text{min)}\cdots(1)$$
- ・ モリブデン陽極管にモリブデンフィルタを付加したエックス線管の場合

$$X_{Mo}(\text{kV})=-1.335+4.385\times 10^{-3}\text{kV}^2 \text{ (mGy/mA}\cdot\text{min)}\cdots(2)$$

ここで、

$X_w(\text{kV})$: タングステン陽極管の管電圧(kV)における空気カーマ(mGy/mA・min)

$X_{Mo}(\text{kV})$: モリブデン陽極管の管電圧(kV)における空気カーマ(mGy/mA・min)

kV : エックス線管の管電圧

(1)および(2)式に管電圧を代入して得られた空気カーマを資料1に示す。

(2) エックス線の透過率

ある物質 (m) からなる厚さ χ のしゃへい体を経て線量率が大幅に減衰しビームの幾何学的形状が広がったエックス線ビームの次のしゃへい体での透過率 (ここでの「率」は単位時間における事象の変化ではない) は、エックス線ビームがしゃへい体のない状態での空気カーマ率 (X_{um})、としゃへい体がある状態の空気カーマ率 (X_{sh}) の比で定義される。なお、透過率はエックス線のエネルギー分布としゃへい物質の組成・密度・厚みなどに依存する。

$$B = \frac{X_{sh}}{X_{um}} \cdots \cdots \cdots (3)$$

ここで、 B は透過率

NCRP 147 においては、Legare ら⁹⁾、および Simpkin^{7,13)}の実測データにより作成された鉛、コンクリート、鉄、ガラス、石膏及び木材の透過率曲線を基に Archer ら¹⁰⁾が作成した3つのパラメータモデル (α 、 β 、 γ) を採用した (NCRP 147 付録 A)。

鉛、コンクリート、鉄、ガラス、石膏及び木材に対するエックス線の管電圧におけるパラメータを表1に示す。

NCRP 147 は、Simpkin⁷⁾が提案した3つのパラメータを用いる一次エックス線の透過率を求める近似関数式(4)を採用した。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha\chi} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \cdots \cdots \cdots (4)$$

ここで、 χ はしゃへい体の厚さ (mm)。

表1のパラメータを(4)式に代入して求めた鉛、コンクリート、鉄、ガラス、

石膏及び木材による透過率とエックス線管電圧の関係を資料 2 から 7 に示す。

得られた透過率は鉛から木材まで広く適用できること、また、このパラメータは、三相、アルミニウムで濾過したタングステン陽極エックス線とモリブデン陽極エックス線と濾過された乳房エックス線ビームに対して 5kV 間隔で透過率の値が利用可能であり、従来明示されていない透過率等を補間法により求めた煩雑から改善される。

(3) 半価層及び 1/10 価層

(4)式によって計算された透過率 1×10^{-4} から 5×10^{-5} までのしゃへい体の厚さの差の値を半価層、透過率の 1×10^{-4} から 1×10^{-5} のしゃへい体の厚さの差の値を 1/10 価層とした (資料 8)。

(4) 散乱係数

Simpkin ら⁸⁾は、組織類似ファントムに入射する照射野 400cm^2 の一次線の空気カーマ率に対するファントムから 1メートルの距離における空気カーマ率の比 (α : 散乱係数) を求めるため定格管電圧(kV)と散乱角(θ)の関数による近似式(5)を提案した。

$$\alpha = 0.016(\text{kV} - 125) + 8.43 - 1.11 \times 10^{-1} \theta + 9.83 \times 10^{-4} \theta^2 - 1.74 \times 10^{-6} \theta^3 \quad (10^{-6}/\text{cm}^2) \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここで、

- α : 散乱角 θ での散乱係数
- kV : 管電圧
- θ : 散乱角

式(5)から求めた散乱角 90° における空気カーマ率のファントムに入射する一次エックス線に対する百分率を資料 9 に示す。

D 結論

(1) 近似関数式によるデータの採用による有用性について

エックス線の特性は、エックス線の発生原理で明らかなようにエネルギーの違う光子の集合体であり、連続スペクトルを示している。従って、しゃへい効果も離散的でなく連続した減弱状況を呈する。このようなエックス線の特性について近似関数式によって求めることにより、一次放射線の空気カーマ、しゃへい体の透過率、散乱係数等の算定評価に適用する諸因子の値は、放射線の物質との相互作用に即したしゃへい評価に適している。

(2) 医薬発第 188 号通知データと比較した場合のメリット

エックス線装置の離散的な管電圧では、これまで通知で示した値と比べて、概して

大きな差は認められないため、NCRP 147 の諸因子の値を採用することにより医療現場での大きな混乱はないと思われる⁵⁾。一方、医薬発第 188 号通知では鉛、コンクリート以外の材質のしゃへい効果は考慮されなかった。NCRP 147 で採用されているしゃへい体の透過率、半価層及び 1/10 価層は、従来の鉛及びコンクリートの他、鉄、ガラス、石膏ボード等の、エックス線装置の一部やエックス線診療室の出入り口扉等に用いられている材料にもしゃへい評価に適用できる利点がある。また、近似関数式を利用したことによって、エックス線の算定評価が簡易となり、補間法等の煩雑な計算が省略できる利点がある。申請者の書類作成及び審査機関における効率的な分析が可能で、審査のスピード化にも貢献できることが期待される。

E 引用文献

- 1) National Council on Radiation Protection and Measurements. Medical X-ray and gamma-ray protection for energies up to 10MeV. Washington DC: NCRP; NCRP Report, 34 (1970)
- 2) National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural shielding design and evaluation for medical use of x rays and gamma rays of energies up to 10MeV. Bethesda, MD: NCRP; NCRP Report, 49 (1976)
- 3) National Council on Radiation Protection and Measurements. Medical x-ray, electron beam and gamma-ray protection for energies up to 50MeV. Bethesda, MD: NCRP; NCRP Report,102 (1989)
- 4) National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural shielding design for medical x-ray imaging facilities. Bethesda, MD: NCRP; NCRP Report, 147 (2004)
- 5) 成田雄一郎, 石垣英世, 秋山芳久, 佐藤安男, 木下富士美, 草間経二: 医療用 X線装置の遮蔽評価に関する新提案, 日本放射線技術学会雑誌 56 1058-1068 (2000)
- 6) Dixon R.L and Simpkin DJ: Primary Shielding Barriers for Diagnostic x-ray Facilities: a new model. Health Phys. 74: 181-189 (1998)
- 7) Simpkin DL: Transmission Data for Shielding Diagnostic x-ray Facilities. Health Phys. 68: 704-709 (1995)
- 8) Simpkin DL and Dxion RL: Secondary Shielding Barriers for Diagnostic x-ray Facilities: Scatter and leakage revisited. Health Phys. 74: 350-365 (1998)
- 9) Legare JM et all. Blindage contre les grands champs de rayons X primaires et diffuses des appareils triphases au moyen de panneaux de verre, de gypse et de plomb acoustique. Radioprotection 13: 79-95(1977)
- 10) Archer BR et all. Attenuation properties of diagnostic x-ray shielding materials. Med. Phys. 21: 1499-1507(1994)

- 11) Dixon RL. On the primary barrier in diagnostic x-ray shielding. Med. Phys. 21 : 1785-1794 (1994)
- 12) Trout ED and Kelly JP. Scattered radiation from a tissue-equivalent phantom for x rays from 50 to 300 kVp. Radiology 104 : 161-169 (1972)
- 13) Simpkin DL: Shielding requirements for mammography. Health Phys. 53:267-279 (1987)
- 14) Simpkin DL : Fitting parameters for medical diagnostic x-ray transmission data. Health Phys. 54 : 345-347(1988)
- 15) 平成 11 年度厚生科学研究費補助金 健康安全確保総合研究分野 医薬安全総合研究事業「医療機関の放射線管理の適正化に関する研究」主任研究者 古賀佑彦
- 16) 平成 21 年度厚生労働科学研究費補助金 健康安全確保総合研究分野 地域医療基盤開発推進研究事業「医療放射線の安全確保に関する研究」主任研究者 細野眞