放射線防護学ノート

担当　勝良剛詞

被ばくの種類

体の外に放射性物質（放射性核種を含む物質）があり、そこから出る放射線を皮膚を通して浴びることを外部被ばく、放射性核種を含む物質（放射性物質）を呼吸、経口、経皮、創部、診療のための放射性物質を含む放射性医薬品を体内に投与することにより体内に取り込むことを内部被ばくと呼ぶ。

被ばく低減の原則

外部被ばく低減の 3 原則は距離・遮蔽・時間である。内部被ばくは、放射性物質から離れたり、遮蔽したりすることで避けることはできないが、半減期の何倍かの時間が経てば放射能が非常に小さくなり、代謝によって体外に排出されたりすればなくなる。ただし、身体の特定の組織に沈着し、代謝で体外に排出されにくい核種で、半減期の長いものは注意を要する。 したがって、内部被ばくでは高 LET の α 線や実効半減期の長い放射線物質が問題になる。

実効半減期

RI の放射能が体内の半分になるまでの真の時間。壊変により半減する時間（物理的半減期）Tp と体内からの生理的排泄又は臓器・組織からの排除の半減期（生物学的半減期）Tb で決まり、この 3 者には 1/Te＝1/Tp＋1/Tb の関係式が成り立つ。

内部被ばくで放射線物質が集積する臓器と実効半減期

ラドン-222：肺、20 分、α線・γ線

ヨウ素-131：甲状腺、7 日、β線・γ線

ストロンチウム-90：骨、18 日、β線

セシウム-137：全身、70 日、β線・γ線

プルトニウム-239：肝臓・骨、20 年、α線・γ線

被ばくの現状

自然放射線による被ばくとエックス線検査などの人工放射線による被ばくがある。自然放射線による被ばくは世界平均が 2.4 mSv、日本平均が 2.1 mSv である。人工放射線による被ばくの種類には職業被ばく、公衆被ばく、医療被ばくがあり、医療被ばくは世界平均が 0.6mSv、日本平均が 3.87mSv と日本の医療被ばくは世界的に見て高いだけでなく、世界の日常生活における被ばくは、自然放射線によるものが大部分であるが、日本の被ばくは医療被ばくが最も多い。この理由として、被ばく線量が多い CT の 100 万人当たりの CT 装置の台数と CT の撮影件数が世界で一番多いのが一因と考え

られています。

人工放射線による被ばくの種類

職業被ばく：管理者の責任であると合理的にみなすことができる業務の過程での被ばく。歯学実習も含まれる。

公衆被ばく：職業被ばくと医療被ばく以外のすべての被ばく。ただし、職業被ばくした女子の胚や胎児も含む。

医療被ばく：診断や治療のための被ばくと健康診断のための被ばく。患者や被ばく検査を伴う検診受検者だけでなく、患者を介護・介助する者、被ばくを伴う生物医学研究志願者（被験者）も含む。

国際的な放射線防護体系

原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）、 国際放射線防護委員会（ICRP）、国際原子力機関（IAEA）、世界保健機関（WHO）等の場において、放射 線防護に関する世界的な安全確保に関する議論が行われ、それらを参考に各国で放射線や原子力の安全利用の原則・要件・指針が策定される。

UNSCEAR：幅広い研究結果を包括的に評価し、国際的な科学コンセンサスを政治的に中立の立場からまとめ、定期的に報告書の形で見解を発表。

ICRP：UNSCEAR の報告等を参考に専門家の立場から放射線防護の枠組みに関する勧告。

IAEA：原子力の平和利用と、原子力の軍事利用への転用を防止。

WHO：公衆衛生上の事象に関するリスクの評価および技術支援。

ICRP 2007 年勧告

ICRP における放射線防護の目的

放射線被ばくに関連して、望ましい人間の努力及び行動を不当に制限せずに、
放射線被ばくによる有害な影響から人 間と環境を守るための適正な水準の防護に寄与すること

ICRP における放射線防護の目標

1） 放射線被ばくを伴う行為であっても明らかに便益をもたらす場合には、その行為を不当に制限することなく人の安全を確保すること。
2） 個人の組織反応（確定的影響）の発生を防止すること。
3） 確率的影響（がんまたは遺伝的影響）の発生を減少させるためにあらゆる合理的な手段を確実にとること。

ICRP における放射線防護の原則

正当化、防護の最適化、個人の線量限度の 3 原則がある。

正当化

放射線被ばくの状況を変化させるいかなる決定も、害より便益を大きくすべき。

医学（医療）における放射線利用の正当化には 3 つのレベルがある。詳細は、スライドハンドアウトを参照のこと。

防護の最適化

個人の被ばく線量や人数を経済的及び社会的要因を考慮に入れた上、合理的に達成可能な限り低くすること。これを、ALARA（as low as reasonably achievable）の原則と呼ぶ。

防護の最適化を進めるために、線量限度、線量拘束値、参考レベル、診断参考レベルが用いられる。

線量限度：計画被ばく状況から個人が受ける超えてはならない実効線量又は等価線量。

線量拘束値：計画被ばく状況から個人が受ける，超えてはならない実効線量又は等価線量の値。患者に適応されず、患者介助者と研究ボランティアにのみ適応。

参考レベル：個人の被ばく線量を制限する値であり、個人に対する防護の基本となる線量。

診断参考レベル：医療被ばくの防護の最適化を目的とする。

被ばく線量指標は撮影法により異なり、指標の詳細はスライドハンドアウトを参照のこと。

診断参考レベル

線量低減目標ではなく、自施設の放射線検査が最適化されているか評価するための参考値。診断参考レベルは全調査施設の実施線量分布の第 3 四分位数（75 パーセンタル値）であり、放射線治療には適応されない。また、線量限度あるいは線量拘束値の数値とは直接の関係を持たず、国や地域に固有の値であり、値が低ければよいというものではない。詳細は、スライドハンドアウトを参照のこと。

最適化のためのツール

矩形絞り、防護エプロン、甲状腺カラー、センサーインジケーター、センサーホルダーなどがある。

フィルム感度の線量への影響

感度の良いフィルム・デジタル化（イメージングプレートなど）により、画質を変えずに線量軽減が可能である。イメージングプレートを使用することで D 感度のアナロ

グフィルムの 1/4 の線量で撮影可能。

個人の線量限度

計画被ばく状況から個人が超えてはならない線量であり、管理の対象となる全ての線源からの被ばくの合計が、その値を超えないように管理するための基準値である。実効線量と等価線量がある。

実効線量：確率的影響を評価するための線量であり、等価線量に組織加重係数を乗じたすべての組織の線量の総和。発がん、遺伝的影響

等価線量：組織反応（確定的影響）を評価するための線量であり、吸収線量（Gy）に放射線加重係数を乗じたもの。各組織・臓器への影響

いずれも単位はシーベルト（Sv）。また、放射線感受性には年齢リスクや性差があり、被ばくによるリスクを考える場合、これらを含め考慮するする必要がある。

被ばくを評価するための単位

等価線量 HT ［Equivalent dose］:

組織の線量

放射線の種類やエネルギーによって生物学的影響が異なることを考慮した単位であり、組織反応（確定的影響）を評価。

等価線量（Sv）＝吸収線量（Gy）x 放射線加重係数

実効線量 E ［Effective dose］:

人体のすべての特定された組織及び臓器における等価線量の組織加重合計

放射線の種類やエネルギー、組織・臓器の感受性の違いを考慮した単位であり、確率的影響を評価。

実効線量（Sv）＝組織加重係数 x 被ばくした組織・臓器の等価線量の和

シーベルト（Sv）: 等価線量と実効線量の特別な単位

放射線加重係数，wR ［Radiation weighting factor］:

低 LET 放射線と比べ高い生物学的効果をもつ高 LET 放射線を反映させるために，臓器又は組織の吸収線量に乗じる係数

組織加重係数，wT ［Tissue weighting factor］ :

身体への均一照射の結果生じた健康損害全体に対する組織又は臓器の相対的寄与を表現するために，組織又は臓器 T の等価線量に加重する係数

ICRP 2007 年勧告（Publication 103）による組織加重係数と組織・器官

0.12：赤色骨髄・乳房・口腔粘膜・腸管粘膜・肺

0.08：生殖器

0.04：甲状腺・食道・肝臓

0.01：皮膚・唾液腺・骨表面・脳

妊婦に対するエックス線撮影

かつてエックス線検査は月経が始まってから 10 日以内に行うべきとする規則（10 days rule）があったが、ICRP2007 年勧告（ p.103）にて正当化されていれば妊婦でも撮影可能とされた。一方で、胎児の吸収線量が 100m Gy を超える場合、臨床医はリスクを説明し個人の状況を確認し、妊娠中絶について両親が決定することが記載されている。

モニタリング

組織反応を防止し、確率的影響を合理的に達成できる限り低減する放射線防護の目標を達成するために、線量限度が定められており、線量のモニタリングが必要。

個人線量：フィルムバッジ、ガラスバッチ、光刺激ルミネンス線量計、半導体式ポケット線量計

環境：電離箱（電離箱式、ガイガー・ミュラー（GM）菅）、シンチレーション計数器

モニタリングの道具の特徴

電離箱：電離作用、X 線、γ線、高精度測定

シンチレーション計数器：電離作用、X 線、γ線、β線、X 線に対し高検出精度

半導体検出器：X 線、γ 線、α線、β 線、高エネルギー分解能、小型化

写真フィルム：写真作用、X 線、γ 線、β 線、中性子線

蛍光ガラス線量計：蛍光作用、エックス線、γ線、β線、高方向依存性、繰り返し使用可

光刺激ルミネンス線量計：蛍光作用、エックス線、γ線、β線、高感度、広測定レンジ、繰り返し使用可

放射線診療に適応される法令

厚生労働省管轄の医療法施行規則、厚生労働省管轄の労働安全衛生法、文部科学省管轄の放射性同位元素等の規制に関する法律（RI 規制法）があり、労働安全衛生法には電離放射線障害防止規則（電離則）が含まれる。

医療法施行規則：医療を提供する体制の確保を図り、もって国民の健康の保持に寄与することを目的。

労働安全衛生法：職場における労働者の安全と健康を確保するとともに、快適な職場環境の形成を促進することを目的。

RI 規制法：放射線障害を防止し、及び特定の放射線同位元素を防護して、公共の安全を確保することを目的

放射線業務に従事する者

放射線業務従事者：管理区域に立ち入って放射線や放射性物質を取り扱う業務に従事する者（電離則）
高エネルギー放射線発生装置、放射線照射装置、照射器具を使用する区域や放射線性医薬品を製造するサイクロトロン室などで従事する者（RI 規制法）

放射線診療従事者：エックス線装置、診療用高エネルギー放射線発生装置、診療用粒子線照射装置、診療用放射線照射装置、診療用放射線照射器具、放射性同位元素装備診療機器、診療用放射性同位元素又は陽電子断層撮影診療用放射性同位元素の取扱い、管理又はこれに付随する業務に従事する者。歯科診療を行うすべての歯科医師が該当する。

職業被ばくの線量限度（電離則）

実効線量限度：5 年間の平均が 20mSv かついかなる 1 年も 50mSv/年を超えない、女子については5mSv/3 月で妊娠の申告以降の妊娠期間に内部被ばくが 1mSv を越えないこと。

等価線量限度：目の水晶体は 5 年間で 100mSv かついかなる 1 年も 50mSv/年を超えない、皮膚は 500mSv/年、女子は 5mSv/3 か月で妊娠の事実を知ってから出産までの腹部等価線量は 2mSv まで。

個人モニタリングの規則

均等被ばく：モリタリング装置 1 個を男性は胸部、女性は腹部に装着。

不均等被ばく：均等被ばくのモニタリング装置に加え、体幹部と抹消部で最も被ばくが多いと考えられる部位の 2 か所に装着。

歯科診療所に関する法令

3 か月間で実効線量が 1.3mSv/3 か月を超える可能性のある場所を管理区域

エックス線撮影の画壁の外側に標識と注意事項の掲示

管理区域は半年を超えない期間（6 か月以内）に 1 回ごとの環境のモニタリング

モニタリングの結果は 5 年間保管

エックス線撮影装置の新設や増設：10 日以内の都道府県知事（保健所）へ届け出。

撮影装置に関する法令

総濾過：アルミニュウム等量で 2.0mm になる様に付加濾過を付与。

照射野：直径 6cm 以下。

焦点－皮膚間距離：15cm 以上（管電圧 70kV 以下またはパノラマ）
20cm 以上（管電圧 70kV 以上またはポータブル）

病棟・在宅での撮影

撮影者および介助者は、エックス線管は患者から 2m 以上離れ、これが困難な場合、防護着や防護手袋を装着し、照射方向から 90-135°の位置に立ち、被ばく低減に心がける。撮影者は職業被ばくになり個人のモニタリングが必要だが、介助者は医療被ばくになり個人のモニタリングは不要。

健康管理に関する法令

電離則：雇入れ又は当該業務に配置替えの際、その後 6 月を超えない期間ごとに 1 回の健康診断を規定。歯科診療ではこちらを遵守。

RI 規制法：初めて管理区域に立ち入る前、管理区域に立ち入った後は 1 年を越えない期間ごと、かつ被ばくした恐れがあるときと規定。一部の歯科医師。

内容：被ばくについての問診、白血球数及び白血球百分率、赤血球数及び血色素量又はヘマトクリット値、白内障（目）、皮膚の検査。電離則も RI 規制法も大きく変わらない。

撮影者の質の確保のための法令

電離則と RI 規制法に教育訓練について定めている・2020 年から医療法で義務化。

基本は RI 規制法に準じ、新規教育と再教育がある。教育訓練の内容と時期の詳細はスライウドハンドアウトを参照。

診療放射線に係る安全管理

令和 2 年 4 月の医療法施行規則の改正により追加。

1）診療用放射線の安全管理責任者の配置

2）診療用放射線の安全利用のための指針の策定

3）放射線従事者等に対する診療用放射線の安全利用のための研修の実施

4）被ばく線量の管理及び記録その他の診療用放射線の安全利用を目的とした改善のための方策*

*口内法Ｘ線撮影、パノラマＸ線撮影、頭部Ｘ線規格撮影、 歯科用 CBCT 撮影については線量管理・線量記録対象から除外されているが、撮影条件等の確認、画質の確認等定期的な品質保証・管理（QA/QC）は必要となる。また、線量 記録義務はないが、撮影時の線量について個々の撮影法における自施設の標準的な線量を把握しておく必要がある。

2025 年 1 月 10 日　版