

令和4年度 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）

「放射線診療の発展に対応する放射線防護の基準策定のための研究」

分担研究報告書「放射線治療における放射線防護の基準作成」

| | |
|------------|---------------------------|
| 研究代表者：細野眞 | 近畿大学医学部放射線医学教室 |
| 研究分担者：高橋健夫 | 埼玉医科大学総合医療センター放射線科 |
| 研究協力者：生島仁史 | 徳島大学放射線治療科 |
| 小高喜久雄 | 公益財団法人原子力安全技術センター |
| 新保宗史 | 埼玉医科大学総合医療センター放射線腫瘍科 |
| 遠山尚紀 | 東京ベイ先端医療・幕張クリニック |
| 川守田龍 | 多根総合病院医療技術部放射線部門 |
| 谷正司 | 大阪急性期・総合医療センター医療技術部放射線部門 |
| 小島徹 | 埼玉県立がんセンター放射線治療科 |
| 山本智子 | エア・ウォーター防災株式会社医療事業本部営業総括部 |

I 「診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室に併設される エックス線装置およびCT エックス線装置（IGRT 装置）の漏洩線量測定の必要性について」

1. 研究目的

現在、診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室（以下、放射線使用室という）に、画像誘導放射線治療（IGRT）を目的としたエックス線装置・CT エックス線装置（以下、IGRT 装置）が、放射線治療における位置照合装置として併設されるようになった。診療用高エネルギー放射線発生装置、診療用放射線照射装置およびIGRT 装置における漏洩線量測定については、医療法施行規則（第30条の22）、電離放射線障害防止規則（第54条）などの法令により、放射線の量の測定（診療を開始する前に1回、その後は6月を超えない期間ごと1回）を行い、その結果に関する記録を5年間保存することが放射線使用室に対して義務付けされている。この記録については、各装置における漏洩線量を合算して評価されている（表1-1、1-2）。

しかし、放射線使用室においては、使用するエネルギーがIGRT 装置よりも高い診療用高エネルギー放射線発生装置または診療用放射線照射装置に対する遮蔽が施されているため、放射線使用室においてIGRT 装置の低いエネルギーの漏洩線量を測定しても、測定される漏洩線量は、Back Ground(B.G.)または検出されない（Not Detected: N.D.）となるのが現況であり、診療用高エネルギー放射線発生装置の漏洩線量と合算評価しても管理区域境界、画壁の外側および敷地境界等において、定められた期間における線量限度（管理区域境界 1.3 mSv/3 月、病室 1.3 mSv/3 月、事業所内の居住区域 250 μ Sv/3 月、事業所の境界 250 μ Sv/3 月）に対して極めて少ない。

このように、放射線使用室における IGRT 装置の漏洩線量は、B.G.または N.D.となるにもかかわらず法令によって、それぞれの装置についての安全性のために漏洩線量の測定が行われているのが現状である。

漏洩線量の測定は、放射線診療従事者の職業被ばくおよび公衆被ばくによる放射線障害を防止する目的で求められていると考える。高いエネルギーの放射線（高エネルギー放射線）を遮蔽する構造の使用室に併設され、主たる高エネルギーの放射線による漏洩線量測定を行ったうえに、より低いエネルギーの IGRT 装置の漏洩線量の測定を行うことが本来の目的を達成しているのか、疑問を呈する。

また、このような放射線使用室の漏洩線量測定は、併設置の台数分だけ繰り返すことになり、その作業は長時間におよび、診療時間外もしくは診療を休止して行うことが必要になる。

さらに、漏洩線量の測定を外部測定業者に委託した場合は、使用室毎、装置毎に費用が発生するので、経費と時間が重複しているのが実情である。

これらのことを鑑みて、放射線使用室に併設された IGRT 装置について、その設置の現状、漏洩線量の測定結果および遮蔽計算結果等の実態を調査し、放射線使用室に併設された IGRT 装置の漏洩線量測定の在り方について検討を行った。

表 1-1. 診療用高エネルギー放射線発生装置使用室における漏洩線量の合算

| 併設された装置 | | | 備考 |
|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
| 診療用高エネルギー放射線発生装置 | エックス線装置 | CT エックス線装置 | 合算して評価 |
| 6 月を超えない期間ごとに 1 回 | 6 月を超えない期間ごとに 1 回 | 6 月を超えない期間ごとに 1 回 | |

表 1-2. 診療用放射線照射装置使用室における漏洩線量の合算

| 併設された装置 | | | 備考 |
|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
| 診療用放射線照射装置 | エックス線装置 | CT エックス線装置 | 合算して評価 |
| 6 月を超えない期間ごとに 1 回 | 6 月を超えない期間ごとに 1 回 | 6 月を超えない期間ごとに 1 回 | |

2. 研究方法

2-1. アンケートの実施

国内の放射線治療施設に対し、日本放射線腫瘍学会、日本放射線技術学会、日本医学物理学会、日本医学物理士会、日本診療放射線技師会などを通じ、メールにて調査依頼を行った。調査方法は、Google フォームを通じて下記項目のアンケートの回答を依頼した。調査期間は、2022 年 11 月 25 日から 2023 年 1 月 20 日までの期間とし、回答は 1 施設 1 回答とした。ただし、診療用高エネルギー放射線発生装置と診療用放射線照射装置などの複数回答施設については、1 施設 2 回答

を得た。

調査内容は、放射線使用室に併設された IGRT 装置の遮蔽計算および漏洩線量測定結果の調査ならびに使用者の負担、要望等、下記の①～⑦の項目について調査した。

- ① 回答者情報
- ② 放射線使用室における IGRT 装置の構成
- ③ 診療用高エネルギー放射線発生装置（リニアック）の最大エネルギー、許可使用線量、診療用放射線照射装置（RALS：Remote After Loading System）の核種、許可貯蔵数量、許可使用時間
- ④ 使用室面壁における IGRT 装置による漏洩線量検出の有無
- ⑤ IGRT 装置による漏洩線量測定についての必要性和効率化に対する考え方
- ⑥ IGRT 装置の漏洩線量測定の時間的、費用的負担感について
- ⑦ その他（時間的、費用的負担感についての理由、もしくはその他のご意見）（自由記載）。

2-2. IGRT 装置の通常使用されている撮影条件の調査

現在本邦で使用されている主な IGRT 装置について通常使用されている撮影条件を調査した。

2-3. 遮蔽計算の検証

調査結果より使用室面壁の遮蔽能力が少ない施設を想定した場合、最大エネルギーが低く、許可貯蔵数量、許可使用線量（時間）が少ない施設が該当すると考えられる。このような施設を選択し、遮蔽計算書提供の協力を頂きその内容を検討した。

また、放射線使用室に併設された IGRT 装置の構成から、漏洩線量の多くなる評価点を検討し、必要な遮蔽能力とその結果を検証した。

3. 結果

3-1. アンケート結果

3-1-1. 回答者情報（回答施設数、地域別回答数）

今回のアンケート調査による回答数とその内訳を表 2 に示す。1 施設 2 回答を頂いているものを 1 施設とすると回答施設数は 246 施設となり、総回答数は 286 となった。回答の内訳はリニアック、RALS、ガンマナイフに区分した。

国内でのリニアックが導入されている施設数は 815 施設であり^{1) 2) 3)}、うち 235 施設から回答を得たため、回答率は 29%であった。

RALS については、国内で 153 施設が導入しており⁴⁾、そのうち 49 施設から回答を得たため、回答率は 32%であった。その他、ガンマナイフが 2 施設であった（図 1）。

回答地域は、北海道、東北、関東、中部、近畿、中国、四国、九州・沖縄の全国 47 都道府県のうち 44 都道府県から回答を得た（図 2）。

表2. アンケート調査の回答数とその内訳

| | |
|--------|-----|
| 都道府県数 | 44 |
| 回答施設数 | 246 |
| 回答数 | 286 |
| 内訳 | |
| リニアック | 235 |
| RALS | 49 |
| ガンマナイフ | 2 |

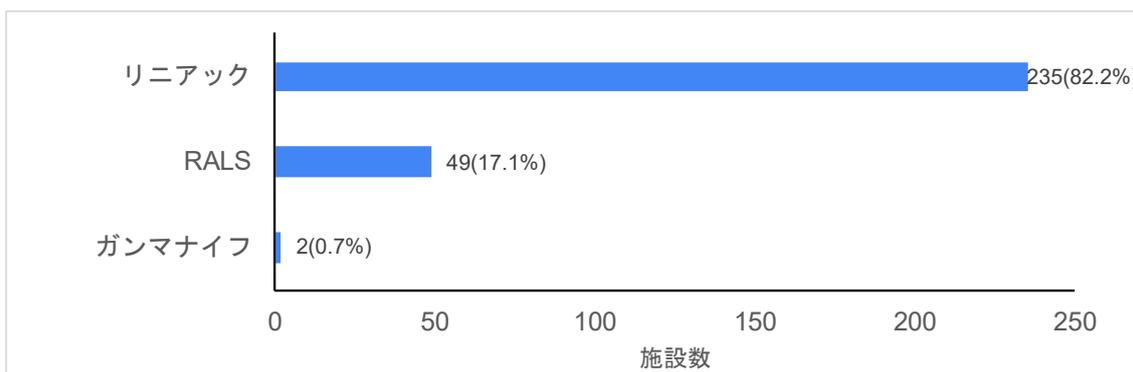


図1. 装置別 回答施設数

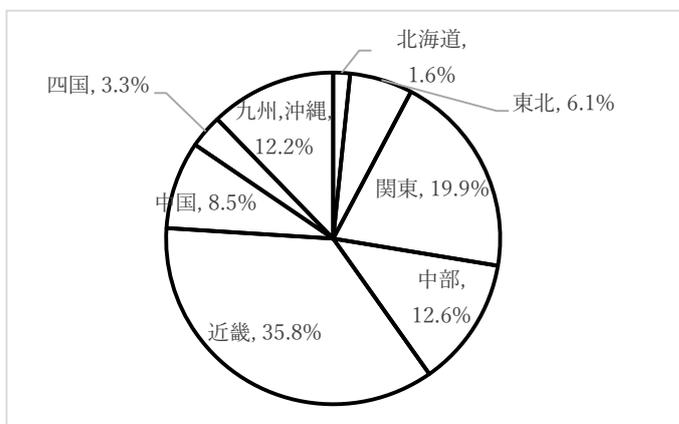


図2. 地域別回答割合

3-1-2. 放射線使用室における IGRT 装置の構成

3-1-2-1. IGRT 装置の構成(リニアック室)

リニアック室では装置付属の IGRT システム (OBI : Varian 社製、XVI : Elekta 社製) のみを使用している施設が 62.6%と半数以上を占めた。また、装置付属の IGRT システムとシンクロナイザシステム (ExacTrac : BrainLAB 社製、SyncTrax : 島津製作所製) を併用している施設が 32.3%であった。また、その他の透視撮影装置 1.7%、装置付属の IGRT システム+その他の透視

撮影装置が 0.9%、装置付属の IGRT システム+同室設置 CT が 0.9%、同室設置 CT が 0.4%、シンクロナイザシステムのみが 1.3%であり、いずれかで装置付属の IGRT システムを使用している施設が 96.7%であった (図 3)。

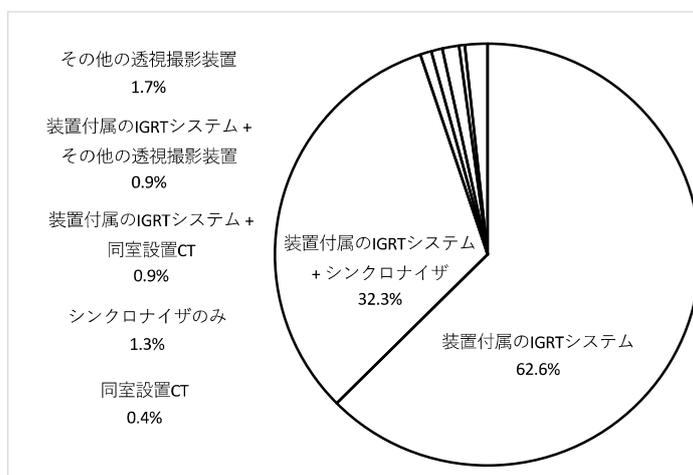


図 3. 放射線使用室 (リニアック室) における IGRT 装置の構成割合

3-1-2-2. IGRT 装置の構成(RALS 室)

RALS 室において線源挿入用のアプリケーション確認、模擬線源や治療用線源位置を確認するための IGRT 装置は、X 線透視撮影装置のみが 61.2%、同室設置 CT + X 線透視撮影装置は 20.4%、同室設置 CT のみが 18.4%であった (図 4)。

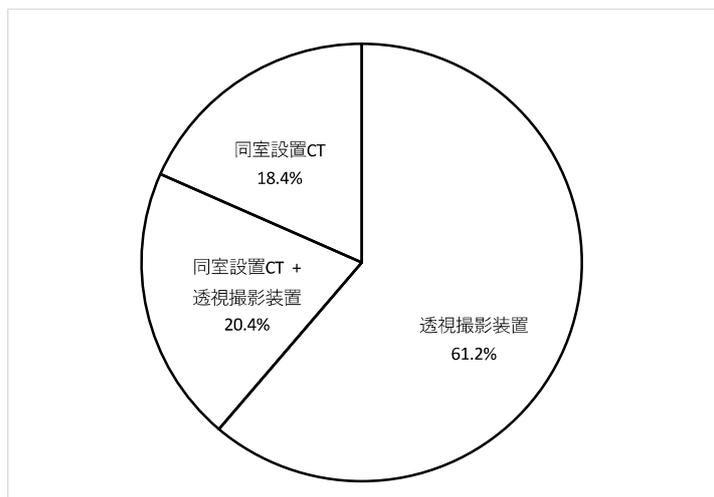


図 4. 放射線使用室 (RALS 室) における IGRT 装置の構成割合

3-1-3. 診療用高エネルギー放射線発生装置 (リニアック) の最大エネルギー、許可使用線量、許可使用時間、診療用放射線照射装置 (RALS) の核種、許可貯蔵数量、許可使用時間

許可線量、許可時間は、放射性同位元素等の規制に関する法律（RI法）上で許可されたものをいう。

3-1-3-1. 診療用高エネルギー放射線発生装置（リニアック）の最大エネルギー、許可線量、許可時間

リニアックの最大エネルギーを表3に、許可線量および許可時間を図5（a、b）に示す。

最大エネルギーについては6MV エックス線が18施設、10MV エックス線が211施設、15MV以上のエックス線が6施設（表3）であった。国内では4MVのリニアックを使用している施設も存在するが、今回の調査にて最大エネルギーが4MVのリニアックはなかった。

許可線量については、10,000 Gy/3月以下から100,000 Gy/3月の施設まで幅広い範囲で分布していた。（最も少なかったのは7,500 Gy/3月、最も多かったのは100,000 Gy/3月であった（図5、a。））

許可時間については、46時間/3月から最大は500時間/3月を超える施設があった（図5、b）。

表3. リニアックの最大エネルギー

| 最大エネルギー | 施設数 |
|----------|-------------|
| 6 MV | 18 (7.7%) |
| 10 MV | 211 (89.8%) |
| 15 MV 以上 | 6 (2.6%) |

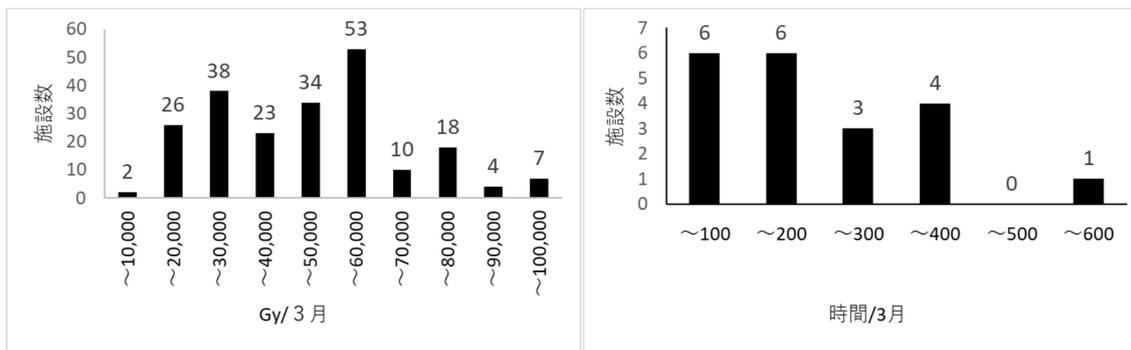


図5. (a) リニアックの許可線量

(b) 許可時間

3-1-3-2. 診療用放射線照射装置（RALS）の核種、許可時間、許可貯蔵数量

許可時間、許可貯蔵数量はRI法上で許可されたものをいう。

RALSの核種を表4に、許可使用時間および許可貯蔵数量を図6(a、b)に示す。回答が得られた49施設中43施設(87.8%)がIr-192(ガンマ線最大エネルギー:0.468 MeV)を使用しており、6施設(12.2%)がCo-60(ガンマ線最大エネルギー:1.33 MeV)を使用している。

許可使用時間については、32.5時間/3月から500時間/3月までの範囲であった。また、許可貯蔵数量は、49施設中43施設(87.8%、Ir-192を使用している全ての施設)が370 GBq、6施設(12.2%、Co-60を使用している全ての施設)が74 GBqであった。

表4. 診療用放射線照射装置(RALS)の核種

| 核種 | ガンマ線 最大エネルギー※ | 施設数(割合%) |
|--------|------------------|------------|
| Ir-192 | 0.468 MeV | 43 (87.8%) |
| Co-60 | 1.33 MeV | 6 (12.2%) |

※分岐比が40%以上のもの

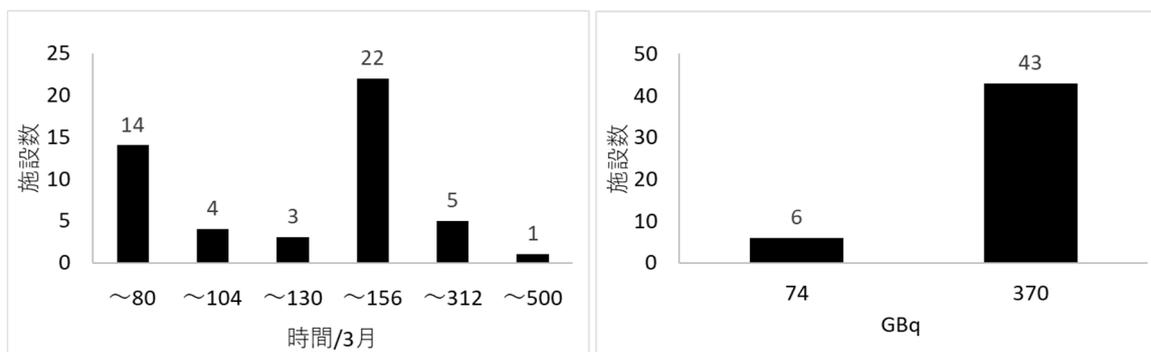


図6. (a) RALSの許可使用時間

(b) 許可貯蔵数量

3-1-4. 使用室面壁におけるIGRT装置による漏洩線量検出の有無

回答のあった全246施設において、リニアック室およびRALS室におけるIGRT装置からの漏洩線量について、B.G.を超える線量を検出した施設はなかった(図7、8)。

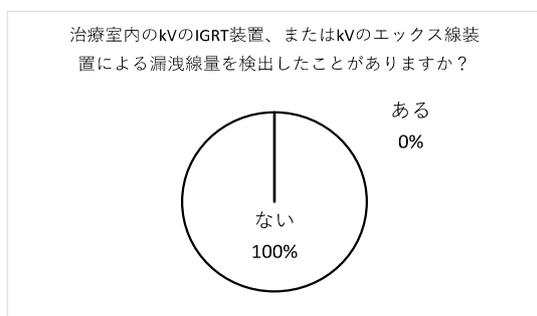


図7. リニアック室におけるIGRT装置による漏洩線量の有無

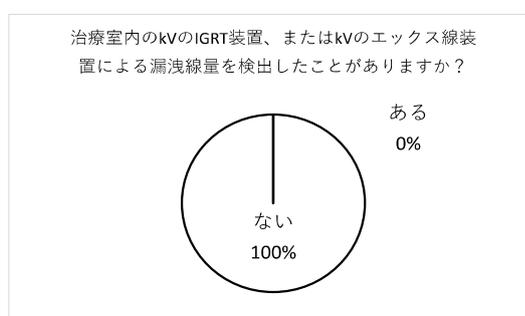


図8. RALS室におけるIGRT装置による漏洩線量の有無

3-1-5. IGRT 装置による漏洩線量測定についての必要性と効率化に対する考え方

「現行法通りの6月を超えない期間ごとの測定は必要である」と回答した施設は14.2%で、85.8%の施設がなんらかの効率化を望んでいる。医療法に基づく診療を開始する前の測定（使用前検査）で安全が確認されており、「使用前検査時の測定後、高エネルギー放射線の測定結果に変化がなければ省略でよい」という選択肢が53.3%と最も多い回答となった。「使用前検査時の測定のみでよい」と回答した施設をあわせると、63.9%となり、使用前検査については多くの施設で必要と考えており、使用前検査後6月を超えない期間ごとの測定については、高エネルギー放射線の測定結果（通常と変化があった場合など）で評価できると考えている（図9）。

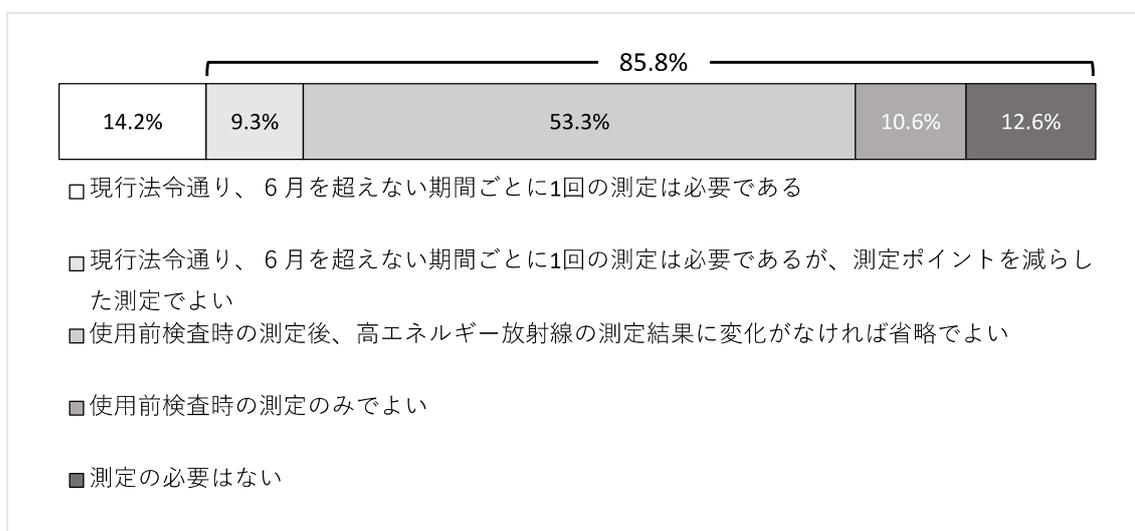


図9. IGRT 装置による漏洩線量測定についての必要性と効率化に対する考え方

3-1-6. IGRT 装置の漏洩線量測定の時間的、費用的負担感について

3-1-6-1. IGRT 装置の漏洩線量測定の時間的負担感

時間的な負担については、7.7%が「負担感はない」、9.3%が「どちらでもない」との回答であり、負担を感じているのは83.0%であった（図10）。

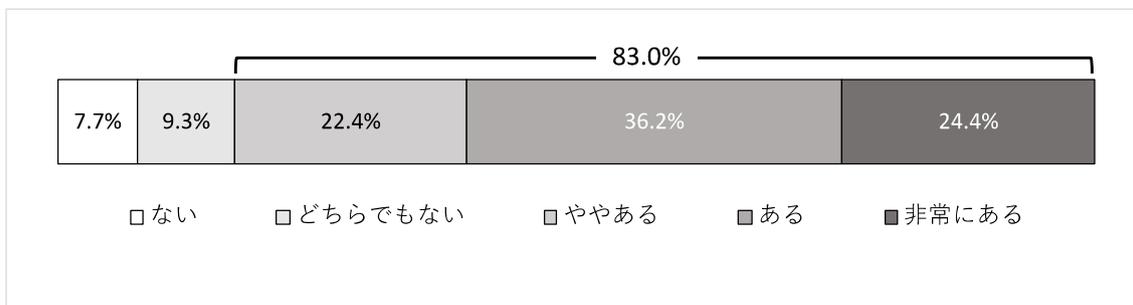


図10. IGRT 装置の漏洩線量測定の時間的負担感

3-1-6-2. IGRT 装置の漏洩線量測定の費用的負担感

経済的な負担については、28.9%が「負担感はない」、25.6%が「どちらでもない」との回答であり、負担を感じているのは45.6%であった（図11）。

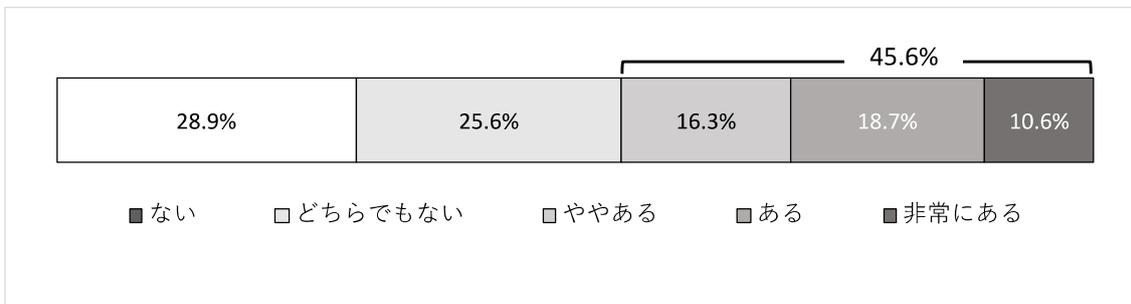


図11. IGRT 装置の漏洩線量測定の費用的負担感

3-1-7. その他（時間的、費用的負担感についての理由、もしくはその他のご意見）

- 測定のための時間を要する。サーベイメータの校正など管理費を要する。また、業務終了後に行うので超過勤務となるため、省略化や簡略化を求める。
- 費用的負担に関して、電離箱サーベイメータはあるが、それ以外により感度の高い計測機器が必要になれば、負担となりそう。
- 高エネルギー放射線の漏洩対策が施された建屋（部屋）にkV-X線装置を設置しているため、kV-X線の漏洩対策は、十分に安全側に立っていると考えます。
- 設問のとおり、高エネルギー放射線の漏洩に変化が認められなければ（建屋に不備がなければ）、一般的にkV-X線の漏洩も同様の結果になると思います。
- 漏洩線量測定は治療・QA業務が終了してから行うため、kV-X線の漏洩線量測定が省略できれば、業務の効率化・時間短縮、スタッフの負担軽減が図れると考えます。
- 費用面では、測定ポイントを減らすことができるため、経費節減が図れると考えます。
- 業務時間外で行う必要があり、振替休日または時間外手当で対応している。また、測定器の維持費や更新にかかる費用がある。
- MV測定を行っており、担保されているのではないかと思う。自施設所持の線量計を使用しているため、費用の負担は感じない。
- 施設検査（使用前）などでkV-X線とMV-X線の両方を同時に漏洩線量測定していれば、その後は、MV-X線の漏洩線量測定に変化がなければ省略しても良いと思われる。
- 外部業者依頼により費用はかかるが、現場側としては、測定から報告書作成まで一貫して対応頂けるので、時間的負担を考慮すれば、費用的負担は妥当と考える。
- 高エネルギーでしっかり管理されていれば、IGRT装置の漏洩線量も管理されているとみなして良いと考える。
- 外部業者に委託しており、年間30万円以上の費用がかかっているため。

- 線量測定は勤務時間外に行うことが多い。時間外労働による賃金が発生する。
- 遮蔽構造から測定する意味を感じない。
- 治療室内の엑스線装置、または、kV の IGRT 装置による漏洩線量を検出したことがありますか？の質問では外部委託をしており、自身で測定したことがないのでわからないのが実情です。
- 漏洩線量が検出される可能性はないのに、測定するのは手間がかかる。よりリスクの多い高エネルギーの測定で漏洩がなければ、遮蔽の健全性は担保されると考える。
- 治療室が広く治療室の 6 面すべてで計測が必要であり、1 面（外壁）を除いて居室・病室である為、多数のスタッフと時間が必要になってしまう上に、治療線量を遮蔽する部屋で診断レベルの放射線が出ることは実質無いと言えるため。
- MV-X 線の測定結果が問題ない場合、kV-X 線が漏洩する可能性はゼロに近い。
- kV-X 線の漏洩線量測定に費やす時間と費用を別の目的に使いたい。
- 漏洩線量測定を業者に委託しており、測定ポイントなどが増えるとその分、時間、費用が増加すると思うから。（契約内容は確認してないので、費用は増加しないかもしれませんが。）
- 平日の測定は業務が終わらず厳しい状況です。休日に測定を行いますが、鍵開けや装置の運転等人手が必要となり、更に平日の休みも取り難い状況です。
- 診療用高エネルギー放射線発生装置使用室において kV-IGRT 漏洩線量の測定を実施すること自体が意味がない。
- 時間については治療部門の測定には膨大な時間と人員を必要とするため、測定日は他の業務ができなくなる。測定については外部委託であるが放射線部全体としてみた場合、治療部門の kV 測定を省略しても費用に殆ど影響はないと考えます。
- 必要性の乏しい測定を実施することの時間的負担が発生している。
- 測定時間に費やす時間が少ない。
- 外部に測定をお願いしているため。
- 漏洩線量測定を外部委託している。
- 施設所有のサーベイメータが少ないため、各ポイントを測定するために複数回の撮影が必要であり、時間がかかると共に、X 線管球や FPD の無駄な消耗を招いている。
- 10MV X 線の漏洩線量測定において漏洩線量を検出したことがないのに、それよりも低いエネルギーの X 線において漏洩を検出するはずがない。漏洩するような状況を想像できない。
- そもそも治療室内の엑스線装置、または、kV の IGRT 装置による漏洩線量を検出したら、MV のビームはダダ洩れになり、その部屋の使用許可がおりるとは思えない。
- 治療件数が多く、臨床業務後の測定となると時間外業務となり、スタッフの残業およびそれに伴う賃金が発生する。
- 漏洩線量測定は外部で委託しており、積算にて評価しているため時間的負担は無いが、診断部門と一緒にしてもらっているため、費用的負担はややある程度。
- kV-X 線の漏洩線量測定は MV-X 線の測定と合わせて外部委託で行っており、kV-X 線単独

での測定は行なっていないため。

- 品質管理や patient QA、RI 法上の環境測定などに加えての漏洩線量測定なので時間的な負担感が増すと考えます。
- Linac、RALS で漏洩線量は測定している、かつ、それらの部屋に関しては遮蔽計算で高エネルギーの散乱線や漏洩線に対し担保できている。以上より、kV に関しては不要。測定項目をわざわざ増やすようなアプローチはやめていただきたい。労働時間、人員負担が増えるのみでメリットなし。
- 治療器を使用できる時間が限られるため、現在は休日に測定することもあり、時間的な負担がある。
- 旧装置では kV の装備が無かったため不要であったが、装置を更新して IGRT が可能となり、追加で測定と記録が必要になったため。
- 最大エネルギーでの漏洩線量は測定しているなので、二度手間な感じがします。
- 高エネルギー放射線の測定、またガラスバッチを用いた環境測定を法令通り行っているので問題ないと考えております。
- ガラスバッチによる測定を業者に依頼して実施しており（貼付はセルフで）、MV 用に設計された構造物に対して、測定している意味が意味不明で、サーベイメータでも値が出るわけがないし、上記のように期間で測定すれば、MV と混じって何の値かよくわからない（おそらく MV のみの値）。本当に、費用と時間が無駄だと感じる。
- 業務委託しているため費用が発生。
- 放射線管理を外部委託しており、測定費用等は委託料に含まれているため、大きな負担はないが、ガラスバッチの取り付け、交換は自分たちで行うのでそのために時間を割いている。
- MV から OBI の準備は多少時間がかかる。
- 法令で決められていることなら仕方がない。
- 装置を使用していない時間帯に測定する必要がある、時間的制約がある。
- サーベイメータの校正などで時間的、費用的負担がある。
- 定期測定の実施は理論（放射線物理）的に考えても不必要であると考える。
- 高エネルギー放射線と併せると約 2 倍の時間を要する。またそれに伴う作業について、超過勤務などの人件費（費用的負担）も発生する。外注の場合も費用がかさむのではないのでしょうか。基本的に高エネルギー放射線の漏洩線量に問題がなければ、エックス線装置、IGRT 装置の漏洩線量が許容値を超えることはないので負担感を感じる。
- MV 以下でよい。
- 時間的負担：CBCT での漏洩線量測定のため、連続撮影をすると管球が熱くなりすぎるため、冷めるまで待ってから撮影している。
- 職員が時間外に測定している。
- 放射線技師（職員）が測定している。
- 省略する事が出来れば時間的短縮は出来る。また、金額的にも安くなると思う。

- 照射業務のない土曜日等に行うため負担が大きい。
- 無意味なことをするのがいやである。
- 測定点が減れば、費用がその分安くなる。
- 測定方法のマニュアル等があれば、誰でも測定できると思うので、それほど負担感は感じない。
- 高エネルギー測定の時一緒にすれば、さして負担はかからない。
- 治療装置付属の撮影装置は放射線治療に用いられる X 線エネルギーより低いため、漏洩の可能性は考え難い。
- 高エネルギー放射線の漏洩線量に変化がないにもかかわらず、法的な理由で測定を行わなければならない、時間の浪費と考えている。また、当院は業者と協力して漏洩線量の測定を行っているため、測定項目の削減により費用も下げられる可能性があると考える。
- 装置導入当初から予算に計上することが必須。
- 診療時間内は測定不可。時間外となる。また、公的機関の監査等への信憑性を担保するため、第三者（測定業者）に委託するため費用負担がある。
- 照射終了後の時間外に行っているため、負担が大きい。（必要性を感じないまま行っているため更に負担が大きい）
- 省略でよいと考えているため、時間、費用がむだに感じる。
- 漏洩線量測定時に毎回おこなってはいますが、漏洩があろうはずもない CBCT の測定をするというまったく無駄な行為に対する精神的負担がある。
- 高エネルギー X 線だけでも時間がかかる。CBCT で漏洩線量を測定するならば、どのタイミングでどの場所を測定するかがわからない。
- 外部委託により積算線量計（バッチ）による測定をしている。そのため kV のみのデータは存在しないが、漏洩線量が検出されたことはない。
- MV の漏洩線量は業者に任せているので、kV は自施設で実施する必要があるため。
- IGRT 装置の放射線が、放射線治療装置のビーム範囲を逸脱しないのであれば、高いエネルギーの放射線、最大照射野で測定されているので、測定する必要は無いと考えます。
- サーベイメータは他の X 線装置を測定しているものがあるので、費用負担はない。
- 高額。
- 通常漏洩線量測定時に測定しているので、特に気になる事ではない。
- 治療終了後に測定作業が必要で、患者治療、QA 業務等に追加の負担となる。また、当院はリニアック室同士が接しているため、その他の作業と並行して行うことが困難で効率も悪い。
- MV の漏洩線量を超える kV の漏洩線量があるのか疑問。
- 構造上不要かと思えます。
- 時間外業務かつ複数名での作業となるため。
- 放射線治療終了後に漏洩線量測定をおこなうので遅くなりやすい。他病棟での測定等の調整

が必要。

- 施設の構造による遮蔽性能が、対向板や自己遮蔽を持たないような高エネルギー発生装置の漏洩線量測定で担保されている場合、診断用装置の最大出力をもってしても、漏洩が発生しないことは自明であるため。治療線束と著しく異なる方向に線束を出力する X 線装置 (Exactrac・Synctrax) はこの限りではないかもしれない。
- 残業となる。
- MV ではファントム必要ないですが、kV だと必要となると、時間、費用の負担が想定される。
- 測定のために治療を止め、土日測定なら人員を確保しなければならない。中性子の漏洩線量測定の方が高線量でクリアしている状態で、kV 等の低線量を測定することに対する費用対効果を病院から理解してもらうのに苦労する。
- 照射しながらの測定なので人員が必要。
- IGRT 機器が複数台あり、測定時に各装置で X 線を出す必要があるため、時間を要する。費用に関しては、職員による測定のため、大きな負担はない。
- 最低でも二人一組のペアで行う必要があり、測定～書類作成で 1 時間程度必要なため、検知できないものに労力を割きたくない。
- 高エネルギーで漏洩線量測定が基準内であるから、低エネルギーで漏洩は考えられないため。
- 結構な時間と人数が必要なため、患者の治療終了後に行っていることと、施設検査で治療室内を確認しているため、漏洩線量が検出されるはずが無いという無意味さを感じる。
- 技師の務めと考える。
- 漏洩線量測定が基本的に時間外の測定になるため、できるだけ短時間で終わらせたい。
- 時間外の測定になってしまうので時間はかかってしまう。外注なのでその分費用は必要となる。(結果表を作成しなくていいのは楽である。)
- 高エネルギーエックス線で漏洩がないことが確認で来ているので、重複の測定になるから。
- 自施設の方針として、QAQC 関係においては特に治療予約時間内に枠を設けることがないため、予約空き時間もしくは勤務時間外に行うため負担感が生じます。
- リニアック装置での高エネルギー放射線の漏洩線量測定で問題が無ければ、kV-IGRT 装置の漏洩線量測定の必要は無いと考えるので、時間的、費用的負担感は非常に感じるどころです。
- 遮蔽構造的に kV が検出されることはないため。
- 治療終了後は、患者 QA や装置の QA/QC の時間に利用したいため。費用的負担感もややあるが、線量測定などの管理にあてる時間を低減できるので良いと思う。

3-2. IGRT 装置の通常使用されている撮影条件の調査

今回のアンケートでは、96.7%で使用されている装置付属の IGRT システムおよび、32.3%で使用されているシンクロナイザシステムにおける、エックス線の通常使用されている撮影条件（装置の既定値）を表5-1、表5-2に示す。またサイバーナイフの IGRT 装置、O リング型リニアックの IGRT 装置についても表5-3 から表5-7 に示した（表5-4 から表5-7 は装置の既定値）。

表5-1. 装置付属の IGRT システムにおいて通常使用されている撮影条件

| | IGRT 装置 | | | |
|-------------|-------------------|-----|-------------------|-----|
| | Varian OBI (CBCT) | | Elekta XVI (CBCT) | |
| | 骨盤 | 頭頸部 | 骨盤 | 頭頸部 |
| 管電圧 (kV) | 125 | 100 | 120 | 100 |
| 管電流時間 (mAs) | 680 | 145 | 1056 | 73 |

表5-2. シンクロナイザにおいて通常使用されている撮影条件

| | Exac Trac (撮影) | | Sync Trax | |
|-------------|----------------|------|-----------|--------|
| | 骨盤 | 頭頸部 | 透視 | 撮影 |
| 管電圧 (kV) | 140 | 120 | 80-120 | 60-100 |
| 管電流時間 (mAs) | 15 | 12.5 | 0.1-0.72 | 10-20 |

表5-3. サイバーナイフにおいて通常使用されている撮影条件

| 部位 | Cranium and C-spine | T-spine | L-spine | Sacrum | Synchrony |
|-------------|---------------------|---------|---------|---------|-----------|
| 管電圧 (kV) | 105-125 | 120-125 | 120-125 | 120-125 | 120-125 |
| 管電流時間 (mAs) | 10 | 10-20 | 10-30 | 10-90 | 5-22.5 |

AAPM-TG-75

表5-4. O リング型リニアック (Vero4DRT) において通常使用されている撮影条件

| 部位 | 全身 |
|------------------------|-----|
| 管電圧 (kV) | 125 |
| 管電流時間 (mAs) | 9.6 |
| 照射野 (cm ²) | 373 |

表 5-5. Oリング型リニアック (Halcyon) において通常使用されている撮影条件

| 部位 | 頭部 | 胸部 | 胸椎 | 骨盤 | 骨盤(Large) |
|-------------|-----|-----|-----|------|-----------|
| 管電圧 (kV) | 100 | 125 | 125 | 125 | 140 |
| 管電流時間 (mAs) | 126 | 45 | 294 | 1080 | 1440 |

表 5-6. Oリング型リニアック (Tomotherapy) において通常使用されている撮影条件

| 部位 | Head | Thorax | Pelvis | Whole Body |
|--------------------|--|---|---|--|
| 管電圧 (kV) | 100 | 120 | 140 | 120 |
| 管電流 (mA/view) | S/M/L 80/125/160 | S/M/L/XL 80/125/160/200 | S/M/L/XL 80/125/160/200 | S/M/L 80/100/125 |
| 撮影時間 (ms) | 5 | | | |
| Views/rot | Coarse/Normal/Fine 360/480/600 | | | |
| 管電流時間 (mAs/rot) | S M L C:144/225/288 N:192/300/384 F:240/375/480 | S M L XL C:144/225/288/360 N:192/300/384/480 F:240/375/480/600 | S M L XL C:144/225/288/360 N:192/300/384/480 F:240/375/480/600 | S M L C:144/180/225 N:192/240/300 F:240/300/375 |

表 5-7. RALS 室において通常使用されている撮影条件 (同室設置 CT および透視撮影装置)

| | 同室設置 CT 装置 | | 透視撮影装置 | |
|-------------|------------|------|--------|--------|
| | 骨盤 | 頭頸部 | 透視 | 撮影 |
| 管電圧 (kV) | 140 | 120 | 80-120 | 60-100 |
| 管電流時間 (mAs) | 15 | 12.5 | 1 | 20 |

3-3. 遮蔽計算の検証

3-3-1. リニアック室における遮蔽計算の精査

回答施設の中から、許可使用線量、許可使用時間が少ない施設を抽出し、検証を行った。

リニアックについては最大エネルギー6 MV、52 時間/3 月の施設について遮蔽計算書の提供を受けた。遮蔽計算書から当該リニアックの最大線量率は6 Gy/min であり、使用線量に換算した場合最大18,720 Gy/3 月となることがわかった。この使用線量はアンケート結果からみても少ない線量であることがわかる。また、当該装置は、10 MV 以上のエネルギーの出力が可能であるが、最大エネルギーを6 MV としているのは既設施設の遮蔽壁厚が少ないことが理由で、元々はコバルト照射装置を設置していた使用室に、更新装置としてリニアックを設置した経緯があった。追加

遮蔽を行ったが、最大エネルギー、許可使用時間を少なく設定している。

3-3-2. RALS 室における遮蔽計算の精査

RALS については、アンケート結果の中で最小の許可使用時間であった Ir-192、32.5 時間/3 月の施設の遮蔽計算書の提供を受けた。協力施設からの聞き取り調査によると一般病棟の一角に設けた放射線使用室であり、遮蔽壁の設置に制限があり、最小の壁厚は 40 cm であった。遮蔽計算上は管理区域境界の $1,300 \mu\text{Sv}/3$ 月に対し最大 $900 \mu\text{Sv}/3$ 月弱となっている。RALS の場合、年間 3～4 回の線源交換が行われている⁵⁾が、許可使用時間が少なくても、早いサイクルでの線源交換を行えば、患者数の増加に対応することができるので、許可使用時間が少なくても実患者数が少ないこととは結びつかない。当該施設は同室設置 CT を使用している。

4. 考察

4-1. アンケート結果について

4-1-1. 回答者情報

国内でのリニアックが導入されている 815 施設中^{1) 2) 3)} 235 施設からの回答で、回答率は 29%、RALS については、国内導入 153 施設中⁴⁾、49 施設からの回答で回答率は 32%であった。RALS の回答施設は比較的大きな施設と考えられ、リニアックの回答と同時に行われた施設が多かったと考えられる。一方でアンケートの質問方法から RALS だけの回答を行った施設も含まれていた。

4-1-2. IGRT 装置の構成

4-1-2-1. リニアック室の IGRT 装置の構成

今回、回答を得た 96.7%の施設で使用されている装置付属の IGRT システムは、リニアックが回転するアイソセンターの方向に照射される。かつ、一般的なリニアックと同じ照射野の大きさ (1600 cm^2) である。このため IGRT システムの一次エックス線は、高エネルギー放射線の利用線錐と直交をしているものの、高エネルギー放射線の利用線錐に対する遮蔽が行われている範囲に対して照射される (図 12-1、図 12-2)。

調査結果から、装置付属の IGRT システムは最大でも 140 kV の撮影電圧であることから、一次エックス線による漏洩線量が、有意な線量として測定されることは考えられない (表 5-5～5-7)。

一方、33.6%の施設が利用するシンクロナイザシステムの照射野は、ExacTrac が 169 cm^2 、SyncTrax が 1265 cm^2 と、一般的なリニアックよりも小さい照射野である。一次エックス線は、アイソセンターを通過するが、高エネルギー放射線とは異なる方向に照射される。そのため、シンクロナイザシステムの一次エックス線方向の遮蔽構造と遮蔽能力については、装置付属の IGRT システムの一次エックス線と同じ評価はできない。またシンクロナイザシステムやその他の透視装置は受像部としてフラットパネル等が組み合わされている (図 12-3)。また、CT 装置を設置している場合にも、高エネルギー放射線の利用線錐以外の遮蔽壁の評価を行うことが必要である。

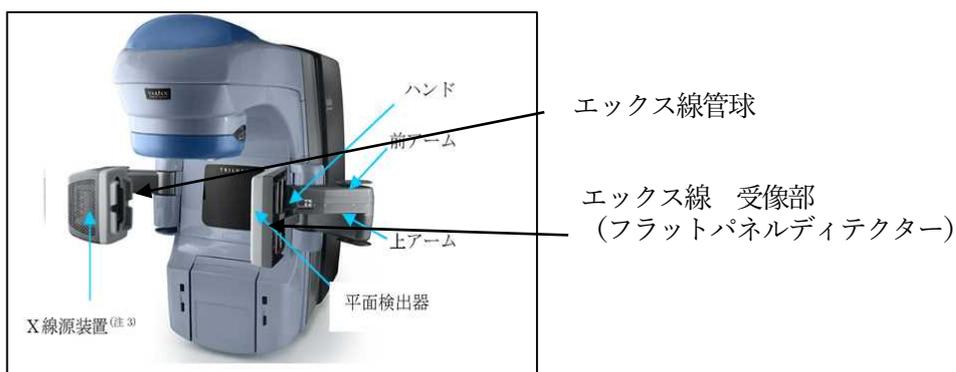


図 12-1. リニアック付属の IGRT システム：Varian 社製 オンボードイメージャ (OBI)
 参考) 医療機器製造販売承認番号：21700BZY00182000

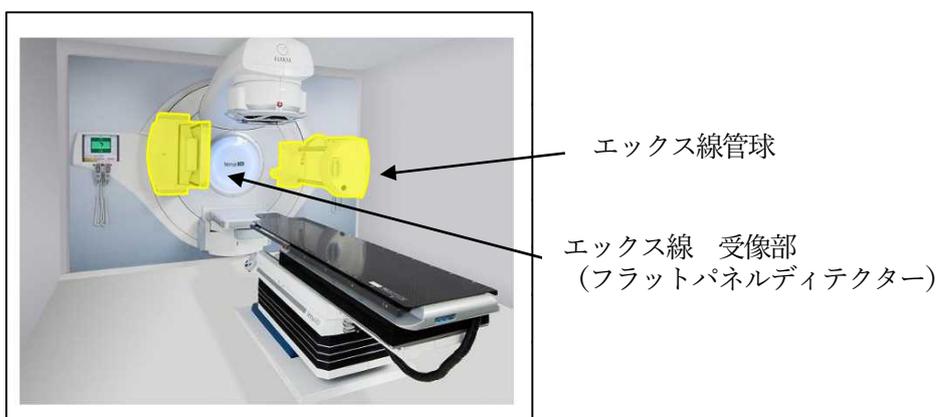


図 12-2. リニアック付属の IGRT システム：エレクタ社製 XVI
 参考) エレクタ株式会社 アプリケーションフィジックス

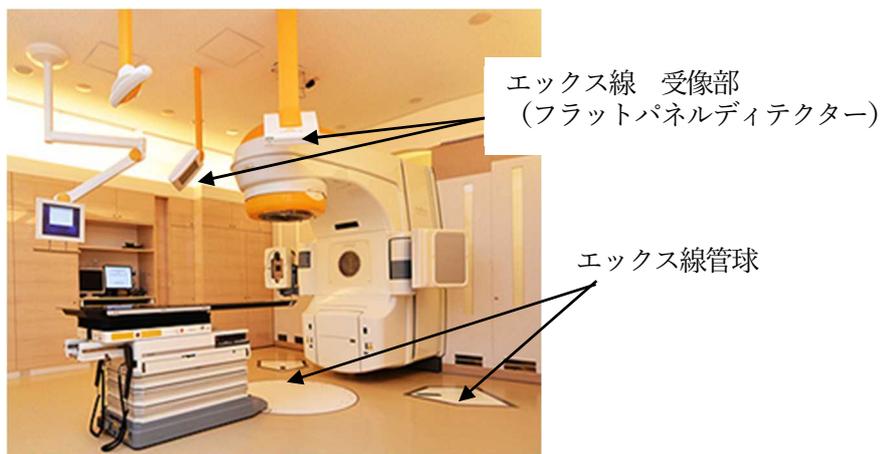


図 12-3. リニアック室内に設置された、シンクロナイザシステム (ExacTrac)
 参考) 多根総合病院治療室

4-1-2-2. RALS 室の IGRT 装置の構成

RALS 室における IGRT 装置は X 線透視撮影装置が 81.6%の施設に導入されている。多くは移動型の C アームタイプの透視撮影装置を据付形として使用していると考えられるが、一部には血管撮影システムを設置している施設もあり⁶⁾、高い撮影条件での使用が可能であるため漏洩線量の評価の際には注意が必要と考える。

また、同室設置 CT は 38.8%の施設に導入されているが、今後 RALS 室における IGRT の普及によりさらに増加することが考えられる。3-2. (IGRT 装置の通常使用されている撮影条件の調査) の結果 (表 5-7) から、同室設置 CT は X 線透視撮影装置よりも高い撮影条件が用いられるために、漏洩線量の評価の際に注意が必要である。また、いずれも受像部としてフラットパネルディテクター等が組み合わされている。

4-1-2-3. 各種 IGRT 装置の撮影条件

様々な仕様の IGRT 装置の撮影条件を調査したが、装置付属の IGRT システムと、装置付属の IGRT システム+シンクロナイザシステムの両システムは、各装置とも近い撮影条件にて IGRT が行われている (表 5-1、表 5-2)。

また、同室設置 CT の撮影条件も確認できた。CT 装置での使用線量は診断領域においては、ダイナミック CT など多位相での造影が行われ、必要な線量は高い。しかし、IGRT では、既に診断が行われた画像をもとに治療計画が行われ、造影 CT 等の情報は十分考慮された上で放射線治療が実施される。IGRT での位置照合は、骨または腫瘍による照合が行われるが、ここで造影 CT 撮影を行うことは考え難い。

しかし、位置決め CT 撮影を放射線使用室内の CT 装置で行うことは考えられる。遮蔽計算を行う場合、このことも考慮した実効稼働負荷を決定する必要がある。

撮影条件として最も高かったのは、O リング型リニアック装置の一部で、140kV、1440mAs という回答であった (表 5-5)。

4-1-3. 診療用高エネルギー放射線発生装置 (リニアック) の最大エネルギー、許可使用線量、許可使用時間、診療用放射線照射装置 (RALS) の核種、許可貯蔵数量、許可使用時間

4-1-3-1. 診療用高エネルギー放射線発生装置 (リニアック) の最大エネルギー、許可使用線量、許可使用時間

リニアックの最大エネルギーは 10MV が 89.8%と最も多かった。放射線治療においては治療部位の深さに応じてエネルギーを使い分けるために、複数エネルギーを出力できることが有利であるが、10MV を超えると放射化物の考慮が複雑となることから、最大 10MV が多くの施設で使用されている一つの理由とも考えられる。

また、3 月における許可使用線量の調査結果では、20,000 Gy/3 月から 60,000 Gy/3 月の施設数が最も多く、全体の 68.8%を占めていた。これらは現状の臨床での必要線量の目安となると考えられるが、今後、強度変調放射線治療や定位放射線治療のような高精度放射線治療の適応が拡大さ

れることも考慮すると、増加していく可能性もあるのではないかと考える。時間での管理を行っている施設ではOリング型リニアックに多く見られ、156時間/3月の施設が半数を占めていた。

4-1-3-2. 診療用放射線照射装置 (RALS) の核種、許可使用時間、許可貯蔵数量

49施設中43施設がIr-192の370GBqであり、許可使用時間156時間/3月が最も多かった。これは、以前にCs-137を用いていた際の名残と考えられる。線源減衰時の治療時間も考慮し患者一人に対し最大で1時間として考えると、1日に1~2名、週に6日の治療を行うために12時間/週が必要な施設が多かったためと考える。3-1-3-2の結果からも分かるように、調査結果においても78時間/3月の施設が156時間/3月に次いで多く、現在ではIr-192を用いている施設が主流であり、計画的な線源交換を行うことで、許可使用時間の短縮がはかられていると考える。

4-1-4. 使用室画壁におけるIGRT装置による漏洩線量検出の有無

リニアック、RALSにおいて「IGRT装置による漏洩線量測定時の検出があった」という施設はなかった。リニアック室においては、6MV以上の高エネルギー放射線における漏洩線量の遮蔽ができているため、IGRT装置からの漏洩線量が検出されないためと考えられる。また、RALSにおいては、Ir-192でのガンマ線の最大エネルギー0.468MeV、Co-60ガンマ線の最大エネルギーは1.33MeV(いずれも分岐比が40%以上のもの)であり、RALS室画壁の遮蔽についてもIGRT装置よりも十分高いエネルギーにて安全を担保しているため、RALS室においてもIGRT装置からの漏洩線量が検出されないためと考えられる。

4-1-5. IGRT装置による漏洩線量測定についての必要性和効率化に対する考え方

医療法においてIGRT装置からの漏洩線量における遮蔽計算は、実効稼働負荷をもとに算出している。実効稼働負荷は、通常使用されている撮影条件で算出されている。一方、RI法においては放射線発生装置の遮蔽計算は、最大エネルギー、許可使用線量、最大照射野で評価し、法令が定める線量限度を担保している。また、IGRT装置からの漏洩線量の計算結果も合算し、評価を行っている。

医療法に基づく、診療を開始する前の測定においてIGRT装置の漏洩線量は通常使用されている撮影条件で行われる。診療用高エネルギー放射線発生装置においてはRI法にも基づく必要があるため、RI法による許可使用条件での評価を行う。使用者は両方の漏洩線量の測定を行い、安全を確認している。

しかし、このIGRT装置における漏洩線量の結果は、アンケート調査結果にあったように全ての施設でバックグラウンド以上の有意な測定値が検出されていない。このために医療法に基づく診療を開始する前の測定(使用前検査)においてIGRT装置の漏洩線量の安全が担保できていれば、「使用前検査時の測定後、高エネルギー放射線の測定結果に変化がなければ省略でよい」と考える施設が多いと考えられる。

4-1-6. IGRT 装置の漏洩線量測定「時間的負担感」、「費用的負担感」について

4-1-6-1. IGRT 装置の漏洩線量測定「時間的負担感」

時間的な負担感については、自由意見からみても使用室の漏洩線量測定は、業務終了後や休日の超過勤務による測定が行われている施設が多い。このため時間的な負担感を持つ割合が大きくなったと考える。

測定方法（測定点）に関しては JIS（日本産業規格）により標準化されており、一般的な X 線診療室においても多くの測定点が必要で、照射室が広く壁面の面積が大きくなりニアック室においては、さらに多数の測定がもとめられる。その負担は一般的な X 線診療室よりも多大となる。実際には、今回すべての施設にて、バックグラウンド以上の漏洩線量の検出がないにもかかわらず、これらの多数の測定箇所の漏洩線量を測定することが求められていることの負担感は大きいと考える。

以下に、JIS Z 4716：2018 による、X 線診療室の漏洩 X 線量の測定方法の一部を示す。

【測定箇所】

- A) X 線診療室などの側壁（人が立ち入らない箇所は除く）：側壁面の一面につき、複数箇所を測定する。測定箇所は、床又は地面から 1 m 程度の高さとし、かつ、側壁面からの距離は 10 cm 以内とする。
- B) X 線診療室などの上階の床面及び下階の天井面（人が立ち入らない箇所は除く）：上階の床面及び下階の天井面につき、それぞれ複数箇所を測定する。
上階の床面からの距離は 10 cm 以内とする。また、下階の天井面については、下階の床面から測定できる範囲でよい。
- C) 漏洩 X 線量が高くなると考えられる箇所。次のような箇所は、床又は地面からの高さを問わず測定箇所とすることが望ましい。
 - 1. 線束方向の側壁面
 - 2. X 線源に近い箇所
 - 3. 扉又は観察窓の周囲
 - 4. 両開き扉の召合せ部分
 - 5. ケーブルピット(貫通部)
 - 6. 換気扇などの開口部

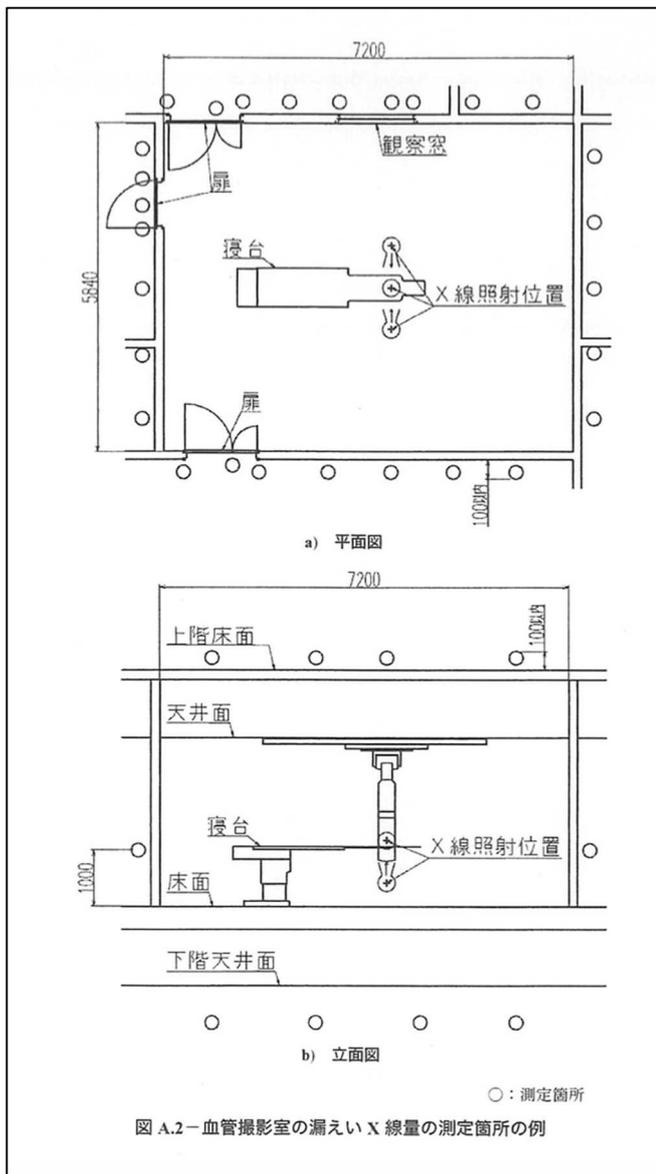


図 A.2-血管撮影室の漏えい X 線量の測定箇所の例

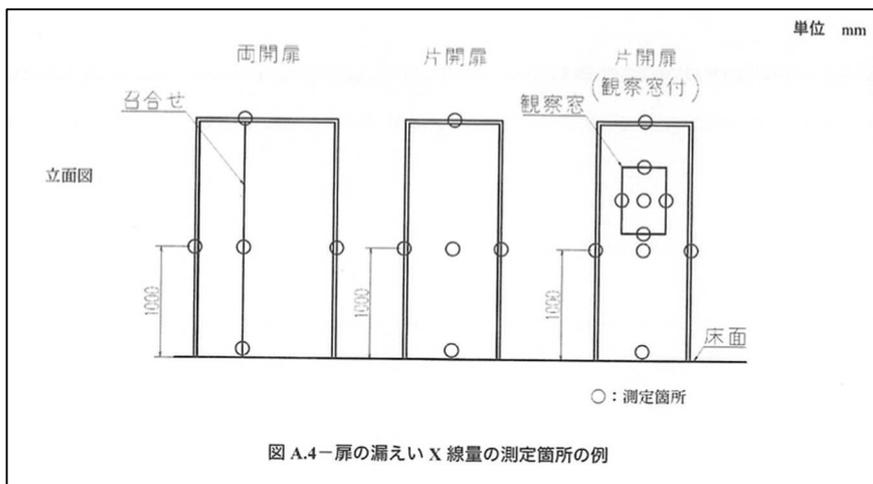


図 A.4-扉の漏えい X 線量の測定箇所の例

JIS Z 4716 : 2018 【附属書 A】 より、X 線診療室などの漏洩 X 線量の測定箇所の例

4-1-6-2. IGRT 装置の漏洩線量測定「費用的負担感」

費用的な負担に関しては、54.5%が「ない」、もしくは「どちらでもない」と回答している。これは、漏洩線量測定にかかる費用については、法令遵守の面から施設として確保しているために、現場のスタッフとしては予算等についてはあまり関与しないことがあり、その実感が少ないからと考えられる。しかし、漏洩線量測定に対し超過勤務を行っている施設も多く、その人件費についても費用的な負担となる。

4-1-7. その他（時間的、費用的負担感についての理由、もしくはその他のご意見）

その他、3.1.7 の自由記載の意見について、以下の通り要約した。

その内容は、法令で規定されているのは室の漏洩線量であって、装置毎の測定ではない。しかし、室の安全性を考えると設置された全ての放射線源を考慮しなくてはならないと考える。そのため、IGRT 装置による漏洩線量測定は行っているが、疑問や負担を訴える声が多いのではないかと考えられる。また、回答者は放射線治療医または、診療放射線技師であるが、日々の漏洩線量測定における実務は診療放射線技師が行い、その結果を放射線治療医等の各施設の責任者が管理する。

放射線治療施設においては、放射線治療患者の増加、医師の働き方改革の推進、またタスクシフト・シェアが進んでいるなかで、IGRT 装置による漏洩線量測定によって、放射線安全管理業務を担当する放射線治療医や診療放射線技師は、さらに時間的な負担感を増しているものと考えられる。

【調査項目：自由記載の要約】

- ・ 高エネルギー放射線で十分遮蔽されているのに、kV エックス線による許容線量を超える漏洩があるとは考えられない。
- ・ 測定に要する時間の負担がある（長時間勤務、休日出勤）。
- ・ 測定に要する費用の負担がある（委託費用、時間外勤務手当）。
- ・ 測定ポイントが多いため、測定時のエックス線装置、イメージングデバイスの負荷がある。

4-2. IGRT 装置の実効稼働負荷について

リニアック付属の IGRT 装置は、高エネルギー X 線のアイソセンターと照射方向を同一とする IGRT システムが 96.7% の割合を占める。これらのシステムについては、表 5-1 に示す通り、同等の撮影条件でもあり、統一した評価が可能であると考えられる。それ以外の IGRT システムの撮影条件は、表 5-2 から表 5-6 に示すように装置間で差が見られた。

表 5-7 に示す CT 装置や RALS 室の IGRT 装置に関しても、装置間で差が見られた。

4-3. 遮蔽計算の検証について

施設の状況や環境により、放射線使用室の遮蔽厚が少ない施設があると考えられた。このような放射線施設に対し、調査結果において最も出力の大きい IGRT 装置を設置した場合の漏洩線量に

ついてシミュレーションを行った。薄い壁厚の放射線使用室で高い実効稼働負荷の IGRT 装置を使用した際に漏洩線は多くなるはずである。対象はリニアック室とし、高エネルギー放射線の利用線錐を遮蔽できる能力を持つ壁厚ではなく、遮蔽能力の低い漏洩線方向の壁厚を考えた。

シミュレーションの条件については、以下のように設定した。

- ・ エネルギー：4MV（アンケート結果では4MVの装置の回答はなかったが、しゃへい計算実務マニュアル⁷⁾中で算出できる最もエネルギーの低いリニアックを対象とした。）
- ・ 許可使用線量：合計：7,500 Gy/3月（アンケート結果より最も少なかった許可使用線量とした）
- ・ 方向利用率：漏洩線方向に対し1.0とする。
- ・ 遮蔽材はコンクリート（2.1g/cm³）とする。
- ・ この時の漏洩線方向において、管理区域境界の線量限度である1,300 μSv/3月を超えない距離と必要な遮蔽壁の厚みを算出する。

照射ヘッドからの漏洩線の算出はしゃへい計算実務マニュアル⁷⁾より、

$${}_L E(x) = \frac{i_0 \times 10^6}{L^2} \times D_t \times 1.0$$

${}_L E(x)$ ：照射ヘッドからの漏洩線に対する遮蔽後の評価点での実効線量(μGy/3月 or 週)

i_0 ：照射ヘッドからの漏洩線量(Gy/3月)

医療法施行規則第30条の2より利用線錐の1/1000とする

10^6 ：GyをμGyに換算する係数

L ：ターゲットから評価点までの距離(m)

D_t ：厚さ tcm の遮蔽材の透過率

透過率はX線のエネルギーに対し、遮蔽材の種類ごとの1/10価層(x)、補正係数(F_0)から算出される。

$$D_t = F_0 \times 10^{-t/x}$$

1.0：GyをSvに換算する係数

シミュレーションを行った評価点までの距離は、代表的なリニアックの構造(Varian社 TrueBeam)を参考にし、放射線使用室のアイソセンターからの内寸を2000mm以上とした。また、ターゲットからの内寸が6000mmまでとする(LongSSD法による全身照射を行う場合に十分な距離とした)。

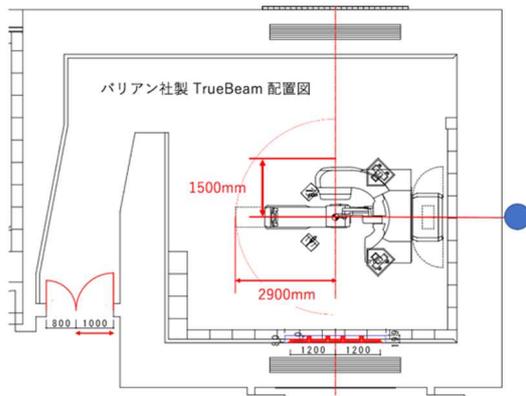


図 13. 参考にしたリニアックの構造図

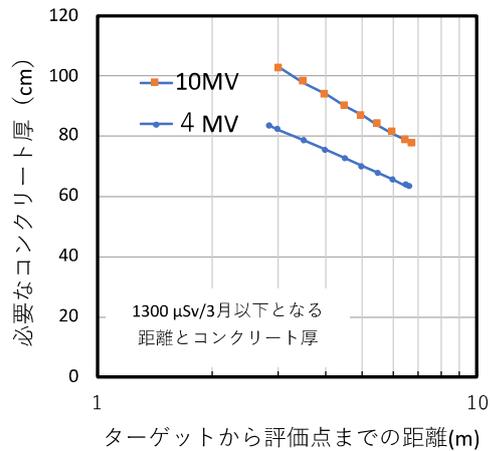


図 14. 漏洩線に対し 1300 μ Sv/3 月以下となる距離とコンクリート厚

以上の条件で評価点までの距離、遮蔽厚を算出した結果（図 14）より、距離 6.0 m で 65.6 cm の壁厚が必要であった。

アンケート中最も多かった 10 MV の装置に関しては、図 14 でもわかるように、さらに厚い遮蔽厚が必要となるため、同じ IGRT 装置を設置したとしても漏洩線量はさらに少なくなる。また、許可使用線量が今回設定した条件（7,500 Gy/3 月間）より多くなる場合も同様に大きな壁厚が必要になるため、IGRT 装置の漏洩線量は少なくなる。

また、同じ施設に対し、ある方向の使用線量を制限する方向利用率（横向き 0.25 とするとこの方向に対する使用線量は 0.25 倍に制限される）を設定した場合に必要なコンクリート壁厚は、距離 6.0 m で 47.3 cm となった。つまり、今回のアンケートに回答された施設の許可使用線量に対し、コンクリート壁厚が薄くなる条件（X 線 4MV、方向利用率 0.25）を適応した場合においても、少なくとも 40 cm 以上が担保されていることになる。

この評価点に対し、IGRT 装置からの一次 X 線による漏洩線量(E_p)を算出する。計算式は平成 31 年 3 月 15 日付け医政発 0315 第 4 号厚生労働省医政局長通知（以下、4 号通知）による。

算出に使用する実効稼働負荷の撮影条件は調査結果のうち最大撮影条件（140kV、1440mAs）とした。撮影回数は単純な照射に対する外照射放射線治療装置による 1 患者の最低必要治療時間を 10 分⁸⁾として、1 日の業務時間（7 時間）から患者数を 42 名とし、治療前に 2 回の撮影（IGRT のための撮影と移動後の確認のための撮影）を行うものとした。さらに安全係数として 2 倍の撮影を行うこととする。

IGRT 装置は直接壁面に照射されることはないため、用いられている受像機（フラットパネルディテクタ等）は一次遮蔽体として、4 号通知に示す鉛当量で計算する。

被写体からの散乱線は、最大でも一次エックス線の0.22倍である。また、エックス線管容器からの漏洩線は第30条第1項第1号において、空気カーマ率で1mの距離において、1.0 mGy/時以下と規定されているため、もっとも影響の大きい一次エックス線 (E_p) のみで評価する。

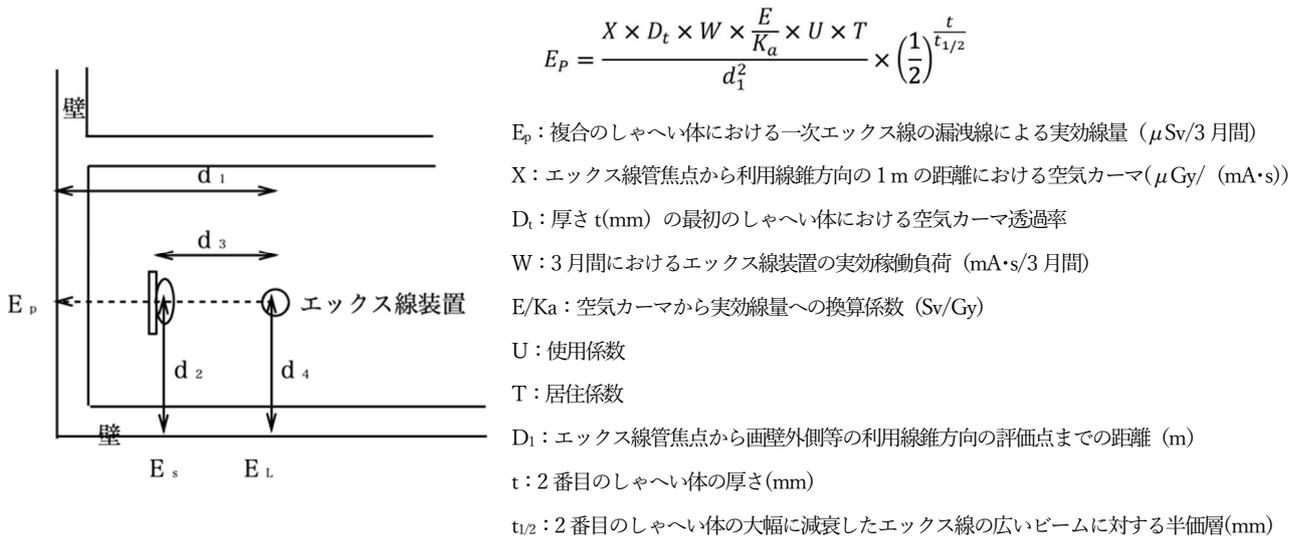


図 15. 4号通知による遮蔽計算

算出条件は以下のとおりである。

撮影管電圧 140 kV

$X = 143 \mu\text{Gy}/\text{mAs}$

$D_t = 3.51\text{E-}4$ (鉛当量 2.4mm)

$W = 15,724,800 \text{ mAs}/3$ 月 (42件/日・5日/週・1440mAs/回・4回/人)

$E/K_a = 1.433 \text{ Sv}/\text{Gy}$

$U = 1$

$T = 1$

$d_1 = 2 \text{ m}$ (壁際で使用することを想定)

$t = 400 \text{ mm}$ (透過率が与えられている最大のコンクリート厚 400 mm の値を使用)

(計算に用いる厚みはコンクリート密度で補正したものをを用いる)

$t_{1/2} = 20.7 \text{ mm}$

結果

$$E_p = \frac{X \times D_t \times W \times \frac{E}{K_a} \times U \times T}{d_1^2} \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} = 0.431 \mu\text{Sv}/3 \text{ 月間}$$

一般的に使用される電離箱式サーベイメータの測定可能な線量当量率の範囲は $1\mu\text{Sv/h}$ から 100mSv/h とされており⁹⁾、この値が漏洩線量測定時に検出されることはない。

以上より、コンクリートの壁厚が40 cm 以上であれば、調査対象とした IGRT 装置からの一次エックス線が漏洩線量として測定されることはない。

RALS については、RALS で使用する IGRT 装置がリニアックで使用するものと同等であれば、リニアックと同様のシミュレーションが可能である。コンクリートの壁厚が40 cm 以上であれば、IGRT 装置からの漏洩線量が問題となることがないと言える。また、RALS の使用状況は年間でも平均85回(表6)と、リニアックに比べて非常に少ない¹⁰⁾。したがって、IGRT 装置の実効稼働負荷もさらに少なく設定されるため、漏洩線量は少なくなり、リニアックと同様に一次エックス線が漏洩線量として測定されることはないと考える。

表6. 使用線源ごとの年間の患者数と延べ照射回数¹⁰⁾

| 線源核種 | 回答数 | 患者数 | 照射回数 | 前立腺シード | |
|-------------------|-----|-----------|-----------|--------|-----------|
| | | | | 実施施設数 | 患者数 |
| ¹⁹² Ir | 82 | 25 (25.7) | 85 (87.1) | 15 | 16 (14.9) |
| ⁶⁰ Co | 7 | 23 (12.9) | 99 (47.2) | 3 | 7 (4.5) |
| 計 | 89 | 25 (24.8) | 85 (84.2) | 18 | 13 (14.2) |

5. まとめ

放射線使用室における IGRT 装置の漏洩線量測定について検討してきた。安全面を担保しつつ、現場の意見と合致し、時間的負担を軽減し臨床現場での患者サービスの向上に寄与するために、以下の要件をもって、診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室に併設されるエックス線装置およびCTエックス線装置(IGRT装置)の漏洩線量測定について、「使用前検査時の測定後、6月を超えないごとの測定は、高エネルギー放射線の測定結果に変化がなければ省略を可能とする。」という運用を提案する。

<要件>

①放射線施設の構造、遮蔽計算について

- 放射線施設はコンクリートにして40 cm以上の壁厚が担保されていること。
- RI法の許可申請時にIGRT装置の漏洩線量も合算され評価されていること。
- IGRT装置の遮蔽計算は受像機を一次遮蔽体として考慮すること。
- IGRT装置の実効稼働負荷は使用可能な最大撮影条件で、放射線治療患者数および撮影の回数を考慮して算出すること。また、その結果、有意な漏洩線量を検出しない結果であること。

- IGRT 装置が移動式、もしくは IGRT 装置の使用位置が診療用高エネルギー放射線発生装置・診療用放射線照射装置の位置と異なる場合は、迷路の配置も考慮し、最も漏洩線量が高くなる位置での評価を行うこと。

②運用について

- 使用前検査において、安全性が確認されていること。
- 診療用高エネルギー放射線発生装置・診療用放射線照射装置の漏洩線量測定において、放射線施設の安全性を確認できること。
- IGRT 装置の受像機を取り外した状態で使用しないこと。
- 測定を省略した場合、管理者はその旨を記録した書面を作成すること。

参考文献

- 1) 月刊新医療 2022 年 12 月号,エム・イー振興協会(2022)
- 2) 月刊新医療 2023 年 1 月号,エム・イー振興協会(2023)
- 3) 月刊新医療 2023 年 2 月号,エム・イー振興協会(2023)
- 4) 月刊新医療 2021 年 12 月号,エム・イー振興協会(2021)
- 5) 川村慎二,HDR(high dose rate)密封小線源治療装置の品質保証 -実践と課題-,日本放射線技術学会雑誌,67,945-952(2011)
- 6) 玉利雄祐 他,大視野 FPD 搭載血管撮影システムによる小線源治療支援,島津評論, Vol.68.No.1(2011)
- 7) 放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル 2015,原子力安全技術センター(2015)
- 8) 大西 洋 他,がんの集学治療における放射線腫瘍学-医療実態調査研究に基づく放射線治療の品質確保に必要とされる基準構造-,日本 PCS 作業部会 厚生労働省がん研究助成金計画研究班 18-4(2009)
- 9) 岩元新一郎 他,放射線安全管理学,共立出版(2021)
- 10)小島 徹 他,診療用放射線照射装置使用室(RALS 室)に併設された診療用 CT エックス線撮影装置の単独使用に関するアンケート報告, RADIOISOTOPES, 71, 225-23(2022)