

I-131 外来アブレーションを受けた患者の線量率測定について

「外来アブレーション」を受けた患者の退出は、I-131 (1, 110MBq) を投与された患者の体表面から1mの点の線量率と患者の行動制限の下で介護者が受ける積算線量を算出し、その結果、介護者の被ばくが5ミリシーベルト、公衆については1ミリシーベルトを超えない場合に認められます(医薬安発第1108第2号 別添 放射性医薬品を投与された患者の退出に関する指針 第3項(3)患者毎の積算線量計算に基づく退出基準)。

その場合、退出前に測定する患者の線量率が積算線量算定の基本になり、線量率の測定にはサーベイメータの特性に十分に注意して測定する必要があります。

当該治療を開始する場合には、以下の事項を参考にサーベイメータの特性を確認し、測定可能な方法で実施してください。

1 線量測定機器の分類 *

(1) 電離箱式サーベイメータ

γ 線のエネルギー依存性に優れ、広い γ 線のエネルギー帯域でも使える。検出感度は低い。

(2) シンチレーション式サーベイメータ

γ 線に対する感度は、 γ 線エネルギーとシンチレータの大きさなどに依存する。エネルギー補償をすることによりエネルギー特性を改善できる。30 μ Sv/h を越すような高線量率領域では数え落としの影響を受ける。

(3) GM計数管式サーベイメータ

測定可能な線量率は、一般用、高線量率用、広範囲用などによって異なる。電離箱式に比べ感度は高いがエネルギー依存性はあまりよくない。最大感度指示範囲の最大目盛値を超える場合、パルス回路の窒息現象のために、実際の線量率よりも低い値を指示するので注意が必要である。

* 改訂版 医療放射線管理の実践マニュアル (社団法人日本アイソトープ協会) 参考

2 サーベイメータについての注意事項

(1) γ 線 (核種 I-131) の線量率が測定できること

測定エネルギー範囲に核種 I-131 の 364keV を含む* ことと同時に μ Sv/h に換算可能な測定器であることを確認する。

(2) 線量率の測定範囲は 25 μ Sv/h でも測定可能なレンジであること

実測試験では、線源 I-131 (1, 110MBq) から 1mの点の線量率実測値は 80~100 μ Sv/h が示された。1mの点の測定が不可能な場合、測定範囲が 25 μ Sv/h 以上のレンジがあれば 2mの点での測定値を 4 倍することで 1 mの点における値へ換算可能である。

(3) 検出器中心の確認 (体表面からの距離を検出器中心までとする)

測定器の種類毎に検出器中心が異なるため、正確な距離あわせのために確認する。

(4) 校正の確認が取れた測定器を使用すること

* シンチレーション式サーベイメータには ^{125}I (30keV) 測定専用のものがあるが、測定できません。

3 推奨の測定方法

当該治療を実施する施設においては、前項2サーベイメータについての注意事項を踏まえた上で、以下の測定方法に十分に留意して使用すること。

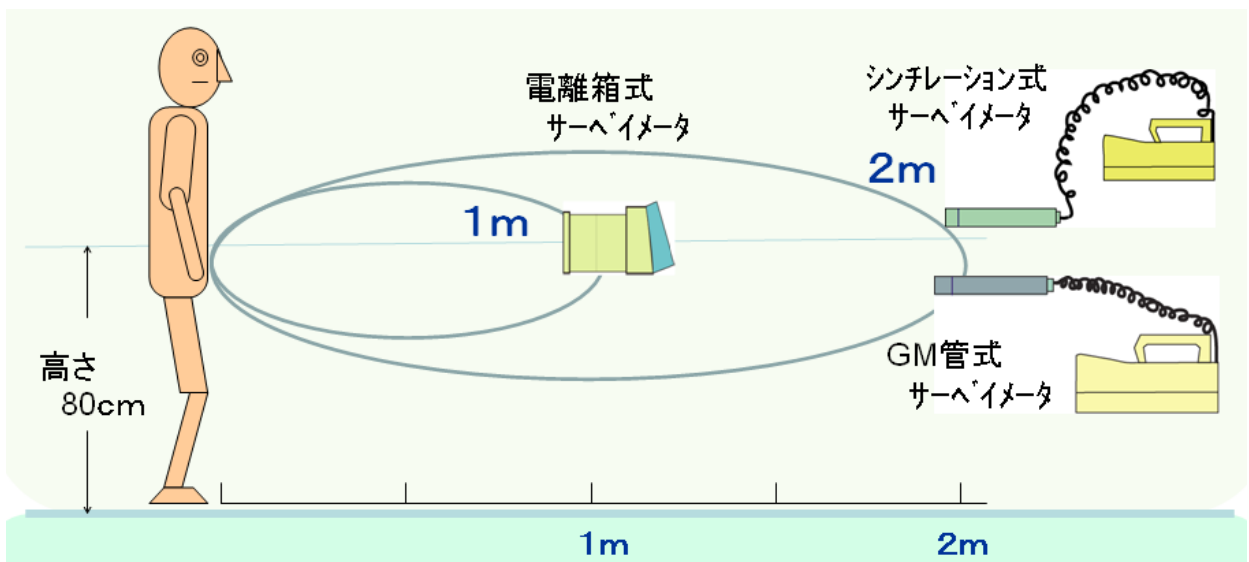
(1) 測定場所の選択

近くに散乱体になる医療器具等が極力無い場所を選び、壁等（特に金属性のドア）からなるべく離れた場所に患者位置を設定（患者の立つ位置をマーク）し、常に一定の条件で測定する。

(2) 測定レンジに合わせた測定距離の選択

測定レンジの目安 $100 \mu\text{Sv/h}$ 以上ある場合の測定距離は、患者の体表面から検出器中心までの1mの点における測定を基本とする。満たない場合は、測定レンジの目安 $25 \mu\text{Sv/h}$ 以上を確認した上で、2mの点における測定値を4倍して1mの点における値に換算する。

なお、検出器部の高さは床から80cmとし、患者は立位での測定を基本とする（図参照）。



(3) 使用すべき線量測定機器の分類

次のABCの順に推奨する。基本的にはAを使用すべきであるが、ない場合にはBまたはCを使用する（参考資料参照）。

A 電離箱式サーベイメータ（1mの点、2mの点のいずれも測定可能）

B シンチレーション式サーベイメータ（2mの点で測定可能、ただし測定レンジに注意）

C GM計数管式サーベイメータ（2mの点で測定可能）

(4) 測定上の注意

- ◇検出器部が分離する場合は、本体より離して測定する（本体からの散乱線を小さくする）。
- ◇コンクリートの壁、金属ドアおよび医療器具等により散乱線が増加するので、なるべく広い空間で測定する。測定環境は常に一定の条件で継続して行う。
- ◇測定は時定数の3倍以上の時間をおいてから計数値を読みとる。
- ◇校正の確認が取れた測定器を使用する。

参考資料（実測試験）

I-131（1, 110MBq）を線源として、各種サーベイメータで線量率を実測した結果を以下に示す。

目的

I-131（1, 110MBq）の線量率の計算値は $72.15 \mu\text{Sv/h}$ であり高線量率である。加えて患者の体による減弱で低値側に、測定環境における散乱線の増加で高値側の影響を受ける。どちらに片寄ることも考えられ不明確である。また線量測定機器の特性により、測定が不可能な機種もあることが想定される。

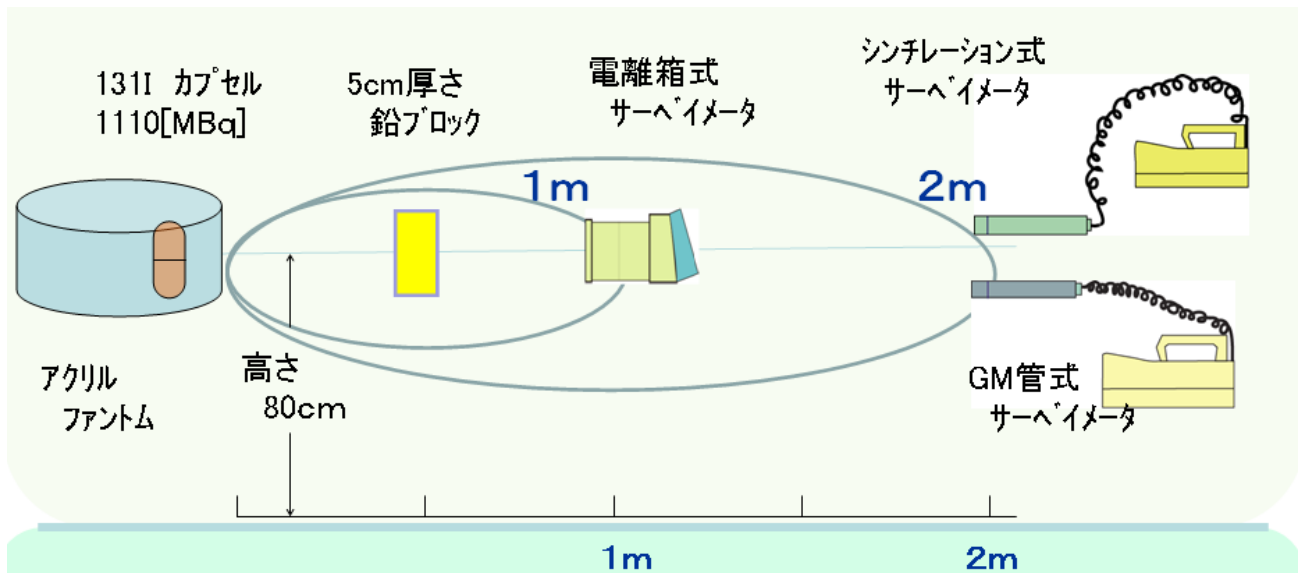
そこで、当該治療で実際に使用される I-131（1, 110MBq）カプセル線源から 1メートルの点における各種サーベイメータによる線量率の実測試験を行い、その適否を検討する。また、2メートルの距離を取ることで測定可能となるサーベイメータがあるかについても検討する。

方法

ヨウ化ナトリウムカプセル（30mCi）を線源として、1 mの点と 2 mの点における線量率の実測試験を各種サーベイメータ毎に行い適否について検討した。また、コンクリートの壁（鉄ドア含む）からの散乱や円筒アクリルファントム（直径 25cm 厚さ 13cm 重量 7Kg）による散乱および減弱の影響についても検討した。

検討には、測定器 A（電離箱式）、測定器 B（シンチレーション式）、測定器 C（GM 計数管式）、測定器 D（ポケットサーベイメータ）の 4 種類のサーベイメータを用いた。

また、事前に実測試験を行う場所固有の散乱線量の影響を見るために線源と線量測定機器の中間点に厚さ 5cm の遮蔽用鉛ブロック（以下、鉛ブロック）を置き、その有無から実測場所固有の散乱の影響を調べた（図参照）。



結果と考察

検討前の確認試験として、測定器 A を使用して壁および鉄ドアからの散乱および円筒アクリルファントムによる散乱および減弱の影響、各種サーベイメータの測定を行う場所固有の散乱の影響を確認した。

- ・線源の後面及び側面に金属ドアがある場合（線源を後面及び側面ドアより 10cm の場所に設置）これは極端な位置での測定であり、散乱線の影響が最大になる事が想定された。測定器 A で 1m の

点の線量率を測定した結果は $97.7 \mu\text{Sv/h}$ と、本試験測定場所での結果（後述 $83.0 \mu\text{Sv/h}$ ）に比べて高い値（17.7%）であった。

・アクリルファントムの厚さによる散乱および減弱の影響

線源をセットした円筒アクリルファントム表面より 1m の点において測定器Aによる線量率を測定し、散乱および減弱の影響をみた。その結果、アクリル表面から 0.8cm の深さでは約 12% 高め、アクリル表面から 6.5cm の深さでは約 25% 低めの線量率となった。浅い位置では散乱の影響があり高い値となり、深い位置になるほど減弱の影響が大きくなる傾向であった。

・実測試験を行った部屋固有の散乱線

当試験を実施した部屋固有の散乱の影響を見るために、壁、鉄ドアや機器などからできるだけ離れた場所を選び床上 80cm に I-131 線源を固定し、代表的な測定器Aとの中間点に鉛ブロックを置いて線量率を測定した。結果は $6.9 \mu\text{Sv/h}$ となり、これがこの場所固有の散乱成分の値と考えられた。これは鉛ブロックの無い場合の測定値 $83.0 \mu\text{Sv/h}$ に含まれるので差し引くと $79 \mu\text{Sv/h}$ となる。従って、実測試験を行った場所固有の散乱の影響は、測定器Aにおいては 8.7% の散乱成分を含んでいるものと考えられる。以下に行った本試験は、この場所に線源を固定した上で 1m の点、2m の点における測定を行った。

本試験では、前述の散乱の影響が小さいと思われる場所で、線源を床上 80cm に置きこれから 1m の点において測定器A～Dを使用して線量率を測定した。その結果、測定器AとCでは測定値 $83.0 \mu\text{Sv/h}$ と $73.3 \mu\text{Sv/h}$ を得たが、測定器BとDのシンチレーション式ではスケールオーバーとなった。従って、測定器B、Dに関しては測定レンジが狭いため 1m の点では測定不可とした。

次に、線源と検出器中心間 2m で測定器A、B及びCにおいて確認した。結果は、測定器A $22.5 \mu\text{Sv/h}$ 、測定器B $23.7 \mu\text{Sv/h}$ 、測定器C $23.4 \mu\text{Sv/h}$ となり、同程度の測定値が得られた。1m と 2m の点の測定値を比較するとAの電離箱式が測定に適していると考えられた。また、Bのシンチレーション式とCのGM計数管式は 2m の点の測定値がAの電離箱式の値に近いことから、これらは 2m の点において測定することを推奨できると考えられた。

また、確認試験結果での散乱線の影響を考慮すると、測定器Cの線源から 1m の点における測定値は測定器Aに比べて低く、その原因としてはパルス回路の窒息現象のためと思われた。これは、2m の点の測定値を 4 倍することで得られた値から 20% 以上低いことから明らかだと思われる。従って、測定器BのGM計数管式では 1m の点における測定は推奨できないとした。

以上の結果から各種測定器の I-131 (1, 110MBq) における線量率測定の適否を表にまとめた。

表

分類	エネルギー特性	測定レンジ	測定の適否		
			1 m の点	2 m の点	
測定器A	電離箱式	30keV～2MeV	$1 \mu\text{Sv/h} \sim 10\text{mSv/h}$	○	○
測定器B	シンチ式	50keV～3MeV (*1)	バックグラウンド～ $30 \mu\text{Sv/h}$	×	○
測定器C	GM式	—	$0 \sim 300 \mu\text{Sv/h}$	△ (*2)	○
測定器D	ポケット	60keV～1.25MeV	$0.001 \sim 19.99 \mu\text{Sv/h}$	×	×

*1 エネルギーの低い ^{125}I (30keV) 測定専用のものがあるが測定できない

*2 1m の点では電離箱式サーベイメータに比べて低めの値になるので推奨しない

まとめ

I-131 (1, 110MBq) を投与された患者の線量率測定は測定器の上限値を超える可能性があるので施設に設備されている測定機器の特性を調べ適合しているか判断する。不適切であれば準備しなければならない。第三者への被ばく線量はこの実測値から推定され、退室の判断を行う重要な役目を担う。実測の測定環境は散乱線の影響因子を極力排除した上で行い、測定器、距離、場所、時刻など記録し保管管理を行う。患者毎の測定は同様の環境下で継続することが重要である。

なお、参考資料に示したデータは日本核医学会、日本核医学技術学会が協働により実施した結果である。