講座

医療用密封小線源の管理

Ⅳ 密封小線源治療における管理の実際[†]

速水昭宗, 丸山隆司*

大阪大学歯学部歯科放射線学講座

565 吹田市山田丘1-8

*放射線医学総合研究所物理研究部

260 千葉市穴川4-9-1

Key Words: brachytherapy, manual of safety use, quality assurance

1. 密封小線源管理マニュアルについて

ここでは、線源の紛失防止と一般患者、公衆および医療スタッフの被曝防護の観点から、日常の小線源取扱留意事項をマニュアルの形にまとめ、参考に供したい。

密封小線源（以下、線源と略）は線源貯蔵室内の安全で十分な遮蔽能力のある線源貯蔵庫に格納保管されており、線源の購入、受入れ、保管、廃棄については放射線取扱主任者の確認と記録が必要である。患者への刺入、挿入（以下、装着と略）などの操作は貯蔵室に隣接する線源処置室で行い、線源装着中の患者は放射線管理病棟（以下、管理病棟と略）内の放射線治療病室（以下、治療病室と略）に収容される。

1・1 密封小線源治療

(a) 密封小線源貯蔵室

(1) 線源の取出し：線源貯蔵庫そばの線源貯蔵配置図を見て、必要な線源の種類と数量の入っている引出し番号を確認する。

(2) 貯蔵庫の鍵をあけて、線源を取り出す。

(3) 引出しに格納中の線源の数量、破損の有無を確認する。

認する。数量不足、破損などの疑いのある場合の処置は(f)項を参照する。

(4) 線源は素手で触ってはならない。必ず最低10 cm 以上(20 cm が望ましい)の軽いクロス・アクションのピンセットなどを用いて操作する。L型遮蔽台のある操作卓を利用して、躯幹部への被曝を軽減するように配慮する。

(5) 糸通しの作業はL型遮蔽台の上に線源支持具を置き、手指の被曝を避ける。

(6) I シード, Au グレインを除きCs 針などには線源の一端に糸通しの孔があるので、それぞれに目印を付けた糸を通し、糸の中央に結び目を作ってここに線源を固定する。Ir ヘアピン, シングルピンにも糸を結び付けて置く。糸は絹糸の太いものを用い、2種類以上の線源を使うときには、色違いの糸をつけて区別しておく。

(7) 準備できた線源は専用コンテナに入れ、密封小線源処置室に移す。

(8) 操作卓ならびにその付近をサーベイメータで調べ、線源が残っていないことを確認する。

(b) 密封小線源処置室

(1) 線源の消毒：専用コンテナから線源を取り出し、鉛で防護された0.5%ヒビテン溶液中に30分以上浸しておく。

(2) 手術台の上に患者を乗せ、小手術と同様に扱う。局所の準備が完全にできてから、線源をヒビテン溶液から取り出し、装着する。

(3) グレイン, シードの装着時は、刺入器に入れた線源を落とさないように、ワセリン軟膏などを滑止め

[†] Handling Manual for Brachytherapy Sources. Ⅳ. Manual of Safety Use in Brachytherapy. Akimune HAYAMI and Takashi MARUYAMA*: Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Osaka University, Faculty of Dentistry, 1-8, Yamadaoka, Suita-shi 565, *Division of Physics, National Institute of Radiological Sciences, 9-1, Anagawa 4-chome, Chiba-shi 260.

に用いると良い。

(4) Ir ヘアピン・シングルピンを使用するときは、ガイドピンなどを利用したアフターローディング法を行い被曝を低減する。

(5) 線源操作時は、術者と線源との距離をなるべく大きくとり、また操作時間を短くするように手順を整える。

(6) 線源操作時には、なるべく鉛の遮蔽衝立を利用する。

(7) 線源の固定は確実にを行い、可能な限り局所に縫合する。線源に通した糸は体表へ導き出してその種類と数量を確認したうえで、絆創膏で皮膚に固定する。

(8) X線撮影：装着した線源の位置、数量を確認するためにX線撮影を行う。

(9) アフターローディング法を用いる場合には、装着の操作はアプリケーションあるいはガイドピンのみで行い、(8)のX線撮影で位置を確認後、実際の線源を装着する。

(10) 準備、消毒したが、使用しなかった線源は糸を外してよく水洗し、貯蔵庫の正しい元の引出しへ戻し、残存線源数を確認する。

(11) 患者を治療病室へ移した後、処置室内および術中に使用した器具、ガーゼ、汚物などをサーバイメータで調べ、線源の残存あるいは混入のないことを確認する。

(12) 密封小線源使用記録簿への記帳：線源の出納を必ず記録すること。患者名、患者に装着中の線源の種類、数量、線源を取り出した貯蔵庫の引出し番号、取出し日時、線源使用予定期間、返却予定日時、術者（使用者名）などを返却時記入欄を除いてすべて記入する。

(13) 線源装着予定時間の手計算は、2人以上が行い相互確認をする。

(14) 線量分布計算機の入力条件は、2人以上で確認する。

(c) 治療病室

(1) 線源を装着中の患者は、病室から離れてはならないことを、患者に充分説明する。

(2) 病室入口およびベッドに装着中の線源の種類、数量、装着予定期間を表示する。

(3) 詰所に備えつけの線源使用表示図板に所定の標識をもって明示する。

(4) 病室配置の鉛衝立は、患者の体軸と平行にベッドの縁につけて配置する。

(5) 線源装着中の患者に対する看護業務は、患者の

要求および看護の必要性と両立できる最少時間に止める。必要時を除いて看護スタッフは、患者の線源から1 m以上離れていること。

(6) 線源が混入する恐れのある衣類、汚物などはサーバイメータで調べ、線源の混入しないことを確認のうえ、病室から持ち出す。

(7) 線源の確認：Cs 針など一時装着線源を使用中には、医師が1日1回線源を確認する。

(8) 線源の破損、紛失の疑いのある場合の処置は(f)項を参照する。

(9) 患者の移動、緊急手術、死亡：線源装着中の患者の移動、緊急手術、死亡時には必ず主任者または主任者補佐*（以下、主任者と略）に相談のうえ、線源を抜去しサーバイメータで測定して、残存線源のないことを確認する。

(10) Au グレイン装着の患者は、線源が脱落するおそれのないことを確認するため、少なくとも1週間は治療病室に入室させる。I シード装着の患者は、患者から1 mの距離における線量率が0.2 mR/h 以下であれば退院させてもよいが、線源の脱落防止のため、Au グレインと同様の措置が望ましい。

(11) 面会：線源装着中の患者への面会は、近親者の1、2名に限り、30分以内とする。面会者は、患者から60 cm 以内に近寄ってはならない。

妊娠中の婦人および子供には、面会を許可してはならない。

治療病室に入室中ではあるが、まだ線源を装着していない患者への面会は、通常の病院の面会規則に従うが、管理病棟であることを面会者に警告しなければならない。

(e) 治療終了時の処置

(1) 線源の抜去は、線源処置室で行う。

(2) 抜去前に、患者名、計画抜去日時、抜去する線源の種類、数量を確認する。

(3) 抜去時に抜去線源の種類、数量が正しいか確認し破損の有無を目視で確かめる。不足または破損の疑いのある場合の処置は(f)項を参照する。

(4) 線源の清掃：糸を外しよく水洗する。

(5) 線源の格納：貯蔵庫の正しい元の引出しへ線源を戻し、線源の総数を確認する。

(6) 治療病室、線源処置室をサーバイメータで点検し、残存線源のないことを確認する。

* 主任者補佐は原則として、第1種放射線取扱免許所持者から院内規定で選任する。

(7) 密封小線源使用記録簿への記帳: 使用記録と対応する所定の場所に, 線源の返却日時, 線源の異常の有無, 返却者名を記入する。

(8) 一時装着線源による治療患者が治療終了後, 一般病棟への転室または退院する時には, サーベイメータで線源のないことを確認する。

(9) Au グレイン, I シード装着患者への退院後の注意: 線源は十分減衰するまで管理しなくてはならないので, 帰宅後の注意事項を記載した注意書きカードを渡す(図1参照)。

(f) 線源の紛失, 破損および火災時の処置

(1) 線源の紛失: 線源紛失の疑いがあることに気づいた者は, ただちに勤務中の婦長または婦長代理(以下, 婦長と略)に知らせる。

(2) 婦長は速やかに主任者に連絡し処置の指示を受ける。

(3) 患者装着中の線源の紛失が疑われる場合, 婦長はただちに管理病棟全医療スタッフ, 患者, 面会者に知

らせ, 病棟を離れないように指示する。

管理病棟の廃棄物, 洗濯物などの病棟外への持出し, 流しおよび手洗いの水洗, 器具や家具の移動, 床の掃除などを止める。

(4) 線源の破損: 線源の破損を発見した者は, ただちに勤務中の婦長に知らせ, 知らせを受けた婦長は速やかに主任者に連絡し, 処置の指示を受ける。

(5) 火災時の処置: 院内の火災発生時の処置に従う。

(6) 線源装着患者の避難: やむを得ず線源装着のまま避難させなければならない場合は, 可能な限り一般患者や公衆とは離れ安全な場所に誘導し待機させる。

(7) 勤務中の婦長は, 消火担当者に線源のある場所とその状態について警告すること。

(8) 火災が線源に近い所であれば, 勤務中の婦長は速やかに主任者に知らせ, 処置の指示を受ける。

主任者およびその補佐の連絡先電話番号は, 詰所, RALS 操作室および院内の電話交換台に掲示してお

<p>1. このカードは第1頁の日付がくるまで, いつも携帯して下さい。あなたに大事なことです。</p> <p>2. あなたが, なにか具合の悪いことがあったり, 不都合(交通事故も含む)が起こった時には表にある番号で病院へ電話をして下さい。</p> <p style="text-align: center;">4</p>	<p style="text-align: center;">注 意 書 き</p> <p>注意書きは____月____日まで使用</p> <p>患者氏名</p> <p>患者自宅住所, 電話番号</p> <p>患者登録番号</p> <p>病院所在地</p> <p>病院電話番号</p> <p>担当科名, 電話番号</p> <p style="text-align: center;">1</p>
<p>投与日: ____月____日</p> <p>核種と量: ____: ____</p> <p style="text-align: center;">と く に 注 意 す る こ と</p> <p>(1) 家庭では</p> <p style="text-align: center;">2</p>	<p>(2) 職場では</p> <p>(3) 乗り物は</p> <p>(4) その他 人ごみをさけて下さい。</p> <p style="text-align: center;">主治医署名</p> <p style="text-align: center;">3</p>

図 1 Au グレインなど装着の退院患者に渡す注意書きカードの一例

く。

1・2 RALS 治療

RALS は、照射室の放射線防護や線源管理の問題だけでなく、装置の動作についての機械的問題もあるので、操作者は十分に装置に関する知識を持つことが必要で、手動による線源の引戻し操作の訓練も要求される。

(1) 毎回、治療開始前に線源駆動ケーブル、線源位置表示灯、タイマ、放射線モニタ表示灯、インターロック系などの動作が正常であることを確認する。

異常が認められた場合、ただちに放射線部技師長に連絡し、処置の指示を受ける。

(2) 適正なアプリケーションおよび正しい線源と線源駆動ケーブルの確実な結合を確認する。

(3) アプリケーションが支持具で正しい位置に固定された後、アプリケーション内に模擬線源を挿入し、X線撮影を行い線源位置を確認する。模擬線源はアプリケーションの奥まで確実に挿入する。

(4) 線源位置を線量分布計算用電子計算機に入力し、速やかに線量分布を得ることが望ましい。

(5) 線源移動距離、停止位置、停止時間などの設定値は2人以上で確認する。

(6) 照射開始前に、患者以外に診療用放射線照射装置使用室内に残っている者のいないことを確認する。

(7) 照射開始と同時に照射室入口上の警告表示灯が点灯することを確認する。

(8) 照射終了後、線源が格納容器内に戻ったことを操作卓の線源位置表示灯ならびに診療用放射線照射装置使用室内放射線モニタの表示灯で確認する。

(9) 照射時間終了後も線源が格納容器に戻らない場合：ただちに既定の緊急措置時の行動をとり、患者を照射室から出す。その後速やかに放射線部技師長および主任者に連絡し、処置の指示を受ける。

(10) 火災などの緊急時の処置：ただちに線源を格納容器に戻し患者を避難させる。電源を切る。

これらに加えて、新しく購入したタンデム用アプリケーションチューブは、使用前にその長さを確認しなければならない。また、市販の装置の中には数種類の線源を準備してあり治療の内容に応じて線源を選択使用できるものがある。この型では線源駆動ケーブルと線源が完全に結合されていなかったり、結合部が破損した時には、線源はアプリケーション内まで押し出されるが、手動でも安全格納容器内には引き戻せないことが起こり得る。この事態に備えて照射室内迷路の所にGM、

サーベイメータと長さ1m程度のトングを、治療台の下に一時線源格納容器を備えて置くことが望ましい。

上記のことは、大学、がんセンター規模の病院だけでなく、小線源を取り扱う場合には規模の大小にかかわらず同じ細心の注意を要求されるものであるから、すべての施設に変わりなく利用できるものである。

小線源治療では、貯蔵室、貯蔵庫など、RALSでは照射室などは法的にもかなり具体的に規定されているのであまり問題はないようであるが、問題は治療病室での管理にあると思われる。密封小線源治療病室を個室で2-3室、非密封RI治療病室を個室で2-3室程度の病室群（上記マニュアルで管理病棟としたもの）では、独立した看護単位となり得ることは難しく、一般病室も含めて1看護単位としての詰所が設けられるのが普通である。

したがって貯蔵室、処置室、撮影室、治療病室、RI便所その他管理区域に必要な部屋をあわせて管理区域とし、詰所に向かって出入り口を設け、出入り口には24時間動作のゲートモニタを働かせ、線源装着中あるいはRI投与中の患者が管理区域から外へ出ようとすれば、ブザー音で警告を発し患者の出入りを見逃すことなどないように配慮しなければならない。ゲートモニタは洗濯物、廃棄物などにあやまって混入した線源が病棟外へ持ち出される事態の防止にも役立つ。

ゲートモニタ以外にも、ハンドフットクロスモニタ、電離箱、GM、シンチ・サーベイメータなど線源に応じたサーベイメータ、とくにIシードを使用の場合には低エネルギー用の配置が必要である。

また面会者その他直接医療に無関係の者が、詰所に断らず、管理病棟に出入りすることなどができないように配慮しなくてはならないことは言うまでもない。

2. 小線源紛失の事故例とその対策

小線源紛失事故は、忘れた頃に発生しマスキにも取り上げられ、医療機関のズサンな線源管理例として扱われることが多く、その結果は医療機関の放射線管理および小線源治療法そのものに多大のイメージダウンをもたらしている。

起きてはならないことであるが、事故は予想もできない事態から線源管理のスキを突かれ出現するから事故なのであって、発生するかもしれないと容易に予想し得るものは、事故には違いないが厳密には事故ではないのではないか。したがって紛失事故は必ず起きるものと想定し、発生した時の損害（たとえば、一般患者、公衆の予期しない被曝、線源捜索労力、費用）を

図 2 医用 Ra 線源紛失の段階 (合計162件)

最少限にくい止められるように、対策を講じておくことが肝要である。そのためには、過去の紛失事例から問題点を抜き出し参考にするのが、対策を講じる上で有効であろう。

まず Ra 線源紛失事故が貯蔵中、準備時、装着時、治療中、抜去時、モールドやチューブからの分解時のどの段階で、どのような頻度で起こったかを図 2 に示す。この 6 段階の区分は小線源治療のなかの線源の動きをほぼ完全に与えるものとして差支えないと考える。この図からは、線源紛失は抜去時が全体の大半を占め、次いで線源装着治療中の約 25% がこれに続くことがわかる。残りの段階は、全体の 1/4 を占めるに過ぎない。貯蔵中の紛失は盗難以外の原因を考え難いが、これも抜去時や分解時の紛失に気づかず、長期間放置後再び使用しようとして紛失に気づけば、貯蔵中とせざるを得ないのかも知れない。

このデータは、1971 年報告¹⁾のいささか古いものではあるが、小線源治療の現状をみると Ra から Cs に、Rn から Au および I に置き換わり Ir が加わり、アフターローディング法が採用されつつあるものの、線源管理の面から見るとほとんど変わりはなく、現在でも参考として有効なものと考えられる。

事実、わが国の事故報告例を見ると、一つ一つの事例を挙げるまでもなく、線源抜去から貯蔵格納までの間に紛失したとしか考えられないものが多く目につく。したがって、まず線源抜去時に使用記録簿に記載された正しい種類の正しい数量の線源の抜去を確認し、クリーニング後貯蔵庫へ格納する時の線源数を調べるだけで、事故の過半数はなくなるのではないかと。このバックアップとして、抜去時に出るガーゼ、汚物あるいはモールド材などは線源数が確認できるまで処置室から持ち出さないことを看護スタッフに徹底しておくことが大切である。

そして線源抜去者の義務として、線源格納後貯蔵庫に施錠し、使用記録簿の返却欄の空白を正確に埋める

ことが大事である。あてはならないことであるが多忙に紛れ空白のままだと、後に万一の時大いに困ることになる。逆に、たとえ正しく記入されているように見えても、正確でなければまったく意味のないものになる。

極端であることを承知で言えば、目視で線源を数え、形状を見、正確に記帳するだけで紛失事故の大半は防げるものであろう。

貯蔵庫からの取出し時に紛失の疑いがあることに気付けば、ただちに主任者に連絡することになるが、主任者は前回の返却者が誤った引出しに格納した可能性も考え、確かめるべきである。

微小なグレインやシードを扱う場合、ピンセットで掴み損なってはじいたり刺入器から床に落としたりすると、なかなか見付からないのでとくに注意が必要である。予防衣のポケット、ズボンの折り返し、履き物のくぼみなどに簡単に入り込む。また鉛レンガなどの間に落ち込めばサーベイメータでも見付けるのが困難になるので、線源操作卓やその周囲および処置室のグッドハウスキーピングも無関係ではない。

また、処置室などには流しが用意されているが、その排水孔には誤って線源が落ち込まぬように、細かいメッシュのフィルタが必要である。排水孔に続く U 字管は、もし線源が落ち込んだとき線源がそれ以上奥へ流れ去ることがないように、またサーベイメータが近づけられるように、万一の時には容易に線源を取り出せるように配慮されていることが必要である。

抜去時を含め貯蔵中、準備時、装着時およびモールドなどからの分解時の紛失は、使用者（術者）側だけの行動と準備で防止できる可能性のあるもので、なおかつ過半数の紛失の原因がここに含まれるので、大いに注意を払うべきである。

つぎに、紛失事故全体のほぼ 1/4 を占める治療中のものであるが、これは他の段階よりも難しい因子が加わる。それは患者の協力がなければ管理が充分に行えない一面があることである。たとえば、紛失の原因になる装着中の線源のゆるみ、脱落は、たとえ 1 日 1 回医師が確認したとしても、患者側からの訴えがなければ完全に対応することが難しいからである。また、線源装着中はベッドから離れ病室外へ出ることのないよう、十分な理解を得、徹底しておかねばならない。

ゲートモニタがあり、詰所の前を通らなくてはならないにしても、ゲートモニタは電源が落ちれば、また故障すれば役に立たず、たいてい詰所は忙しく四六時中出入口を監視することなどできない相談であり、患

者の協力がなければ十分な管理ができない訳である。

ちょうど、紛失事故の中にも治療中の例がある。これは某年6月17日午前11時15分に、Ra チューブ4本(20 mg 1本, 10 mg 3本)を装着した患者(73歳)が、48時間の装着予定期間内の19日午前8時40分頃治療病室から出て廊下を歩いているのが発見され、ただちに治療病室へ戻し、主治医が調べたところ装着固定のガーゼ、絆創膏がひきむしられており4本とも行方不明。その日のうちに1本(20 mg)が治療病室と同じ階の便所から、1本(10 mg)が病棟階下マンホールから発見されたが、残り2本(10 mg)は院内建物全域、構内全域、市下水処理場、市清掃工場、焼却物廃棄場、院内下水末端から市下水処理場まで探索したが6月22日まで発見されていず7月9日現在引き続き探索中というものである。厚生省医務局指導助成課長通知²⁾によれば「患者はこの期間室外への出入りを禁じられていたにもかかわらず、それが高齢患者のため徹底されなかったこと、しかも患者自ら器具を剥脱してしまうという予想されない事態が起こったことが、紛失に至ったおもな原因と考えられる」と記載されている。

まず患者の協力を得るという観点から、患者への事前の主治医および婦長の充分な説明が重要ポイントになるゆえんである。

そして、そとえ紛失防止には完璧ではないとしても1日1回医師による装着中の線源確認が大事である。イギリスの規定では患者に装着中の一時装着線源の数と位置は定期的に点検せよとあり、それを受けた某病院の院内規定には、主任看護婦と医師のそれぞれが1日1回患者に装着中の線源を確認すべしとある。

予想されない事態の起こったことが紛失に至った主な原因であるとの報告を確実にうけとめ、管理を受けていない線源は病棟から絶対外に出さないという網をかぶせた

上で、なおかつ病院全体の廃棄物集積場や焼却場入り口にゲートモニタを設置することが、万一のとき役にたつ可能性もあるので望ましい。

もし不幸にも、線源紛失の事態に遭遇すれば、可能な限り速やかに線源探索を開始すべきで、遅れば遅れるほど線源発見の機会は確実に減ると考えられる。

なお、Isotope News, 1983年

9月号, 1986年5月号に参考とすべき記事が掲載されており、とくに前者は線源紛失から発見までの処置と経過が具体的に述べられていて、参考となるところが大きい。

3. 小線源の品質管理

小線源の治療についての品質管理は、大きく臨床面と物理面の2つに分けられるが、ここでは物理面について述べる。品質管理の目的は、標的容積に計画線量の $\pm 5\%$ 以内の精度で必要な線量を与え、標的容積外の線量を最小にすることにある。したがって、この品質管理には、線源強度の校正、線源位置取得と線量計算法が大きな比重を占めるが、放射線安全管理の面もゆるがせにはできない問題である。

3.1 投与線量の精度

ICRP Publication 44「放射線治療患者の防護」³⁾によると、密封小線源治療の治療計画は外部照射と同じ精度を持つべきであると述べられている(62項)ことから、標的容積には計画線量の $\pm 5\%$ 以内の精度が要求されることになる。また、AAPMのレポート⁴⁾では妥当な精度の目標は線源から、2 cm 以内の点のデータで $\pm 5\%$ の不確定度、との記述もみられる。

3.2 線源情報

線源に対する知識の量、たとえば線源の化学的・物理的状态および線源容器の材質・形状などは、線源校正や線量計算の精度に影響を与えるし、万一の破損時にも役立つので、線源の保証書、検定書あるいは仕様書などは大切に保管するとともに、データ不足の時には業者に問い合わせることが必要になる。

表 1 密封小線源の受け入れ、出荷の測定例

(1) UNION MINIERE 製 Ra 1 mg needle 例, Active length 2 cm 10本まとめて9.79 mg Ra の検定書, (ウエル型電離箱 電流の相対値測定例)	4.35, 4.35, 4.32, 4.30, 4.35, 4.37, 4.28, 4.35, 3.85*, 4.35,
(2) ¹²⁵ I シード例, 3 M製, 80個, (ウエル型電離箱 電流の相対値測定例)	平均値 1.028, 標準偏差 ± 0.036 ($\pm 3.50\%$), max 1.14, min 0.95
(3) ¹⁹⁸ Au シード例, 原研製, 13個, 60年11月製造分からのデータ	平均値 4.8 mCi, 標準偏差 (1σ) ± 0.1 mCi ($\pm 2.1\%$), max 5.1 mCi, min 4.7 mCi
(4) ¹⁹² Ir シード例, 原研製, 20個, 60年11月製造分からのデータ, 出荷12月用	平均値 1.5 mCi, 標準偏差 (1σ) ± 0.05 mCi ($\pm 3.0\%$), max 1.6 mCi, min 1.4 mCi

(3), (4)のデータは日本原子力研究所 加藤 久氏による

* 臨床に使用せず

表 2 1 Ci (37 GBq) の放射能による出力の換算表

核 種	1 m の照射線量率*	1 m の空気カーマ率		
		mGy/h	$\mu\text{Gy}/\text{min}$	$\mu\text{Gy}/\text{s}$
^{60}Co	1.30	11.35	189.2	3.152
^{125}I	0.145	1.266	21.10	0.352
^{137}Cs	0.33	2.881	48.02	0.800
^{192}Ir	0.48	4.190	69.84	1.164
^{198}Au	0.235	2.052	34.19	0.570
^{226}Ra	0.825	7.202	120.0	2.000
(0.5 mm Pt 濾過)				

* この値は $\text{R m}^2 \text{h}^{-1} \text{Ci}^{-1}$ 単位の照射線量率定数である

3.3 線源強度の測定と校正

保証書あるいは検定書を参考に、施設での測定を線源受け入れ時に行うことが重要な課題であり、これは検定書記載の線源強度を確認するとともに、大きな偏りを持った線源を除く目的がある (表1参照)。

(a) 線源強度の表示⁵⁾

(1) mg Ra eq.: Ra 代用品を直接 Ra と比較するために、線源を mg Ra equivalent で表わした。線源の mg Ra eq. は、その線源から同じ距離で同じ照射線量率を与える 0.5 mm Pt 濾過の Ra の量である。

(2) 基準照射線量率: 線源強度はその出力、たとえば基準距離での照射線量率で示され、1 m において1時間あたりの mR の基準照射線量率が用いられる。日本原子力研究所製の Ir には $X \text{ mR/h at 1 m per mm}$ との記載がある。

(3) 基準空気カーマ率: 1983 年, CFMRI が線源を基準空気カーマ率 reference air kerma rate で示すことを勧告した。線源の基準空気カーマ率は空気中で 1 m の基準距離において、空気による減衰を補正した空気のカーマ率であり、 $\mu\text{Gy h}^{-1} \text{at 1 m}$ で表される。たとえば、0.5 mm Pt 濾過の 1 mg Ra の点線源は $8.25 \text{ R h}^{-1} \text{at 1 cm}$ または $0.825 \text{ mR h}^{-1} \text{at 1 m}$ の照射線量率であるから、照射線量から空気カーマ率への換算係数 0.873 cGy/R ($W=33.85 \text{ eV}$) を考えると $7.2 \text{ cGy h}^{-1} \text{at 1 cm}$ または $7.2 \mu\text{Gy h}^{-1} \text{m}^2$ となる (表2)。

Ir のようなワイヤ状線源には unit normal linear air kerma rate, $X \mu\text{Gy h}^{-1} \text{m}^2 \text{cm}^{-1}$ の表現もある、光子エネルギーが 150 keV から 4 MeV の間では、空気カーマ率に 1.11 を掛けると水の吸収線量が得られる⁶⁾。

(b) 測定に対する精度^{3), 4)}

(1) 線源の線量率は $\pm 5\%$ 以内の精度。

(2) シードのように同時に多数個使用する線源の総放射能は $\pm 5\%$ 以内で知るべきで、その中の個々の線源は 15% 以上相違してはいけない (表1参照)。

(c) 測定器と校正方法⁴⁾

(1) 測定器の再現性は $\pm 2\%$ より優れ、S/N 比は 100:1 以上であること。

(2) 小線源の測定と校正にはウエル電離箱線量計 (核医学用キュリーメータの類) の利用が、HDR RALS 用線源には川島らのサンドイッチ法⁷⁾ が良い。前者の場合、線量計の直線性、スケールファクタ、エネルギー依存性、イオン収集効率、幾何学および線源長さ依存性、線源容器壁厚依存性などの特性を知る必要がある。

(3) 長寿命線源 (Ra, Cs, Co など)

各線源を測定し、そのうちの一つを標準線源とするが、他の線源と区別できるなら別に扱うことはない。この標準線源をしかるべき施設で校正する (電子技術総合研究所、ただし障害防止法に基づく線源移動の手続きが必要である)。

残りの線源は標準線源と比較校正する。

(4) 短寿命線源 (Ir, I, Au など)

長寿命の標準線源を参考線源とし、短寿命線源から標準線源を選び、それぞれの測定条件で比較測定する。この相互比較は、それぞれの線源による線量計の相対感度の比較基準を得るためである。この標準線源を上記校正施設で校正する。

線量計を標準線源で校正し、参考線源で標準線源減衰後の線量計の動作を保証するか、標準線源と参考線源による電離箱の読みの比から補正係数を定めるかどうかの方法による。どちらにしても参考線源は電離箱を短寿命線源の校正に使用する時はいつも測定する。標準線源が減衰して校正の目的に使えなくなった

とき、新しいものと置き換える必要はない。

(d) 線源の均等性

線源容器内の放射能の均等性、Ir ワイヤなど線線源の長さ方向の強度の均等性およびシードをプラスチックチューブなどに詰めたものは、個々のシード強度とシード間隔の均等性が線量計算に重要なチェックポイントになる。これら強度分布および間隔の検査にはオートラジオグラフィの利用が便利である。

3・4 RALS

RALS (remotely controlled afterloading system) には LDR (low dose rate) と HDR (high dose rate) のものがあるが、わが国では HDR のものが一般的である。

RALS は、使用に当たって特別な注意が必要であり、それは RALS 放射線装置としての保守・点検・整備を欠かせないことが、小線源治療と大きく異なる点である。したがって故障に対応する処置を準備しておくことが重要事項となる。

HDR RALS 治療の品質管理としての“日常の監視プログラム”には、つぎの項目が挙げられる^{3),4)}。

(a) 線源位置の確認

(1) 線源位置指示器、コントロールパネル上のランプ、診療用放射線照射装置使用室内の放射線モニタなどの動作を毎日調べる。

(2) アプリケータ内の線源位置の再現性は±1 mm 以内であることを毎日調べる。このチェックはオートラジオグラフィで行う。

(3) 治療ごとに、線源の治療位置が治療計画時のものであることをX線撮影で確認する。

(b) 治療時間の確認

(1) タイマーの精度は月に1度調べる。投与線量で1%を超える誤差はよくない。タイマー、バックアップタイマーとも精度は0.5%以内に保つこと。

(2) 線源移動時間は、装置設置時と、あと半年に1度測ること。線源移動時間による線量誤差の補正は投与線量の1%を超える時に行う。ICRP Publication 44では、線源移動時間(safe-to-exposed position)を測定し、その時間が治療時間の2-3%を超えるならば補正計算を行うとある。

(3) バックアップタイマーのない装置には、バックアップタイマーを用意する。

(4) 治療時間の計算は、治療開始前に確認する。

(c) 治療の確認

(1) 治療ごとに、アプリケータの位置をX線写真か

透視で確認する。

(2) 治療ごとに、*in vivo* 線量測定を行う。

(3) 治療中の患者は、コンソールの所から監視できること(TVモニタが良い)。

(d) 危険時の処置

治療時間終了にもかかわらず線源が貯蔵容器に戻らないなどの危険時に、術者および操作者がただちに対応しなければならない処置方法は、永久的に操作室内に掲示すること。操作者は、線源の手動による引戻しなどの訓練が必要である。

(e) リークテスト

アプリケータ内側の汚染テストは、線源容器の破損によるリークがあるかどうか、装置設置時とその後少なくとも年1度、および線源容器の破損が考えられた時はいつでも行わなければならない。もしリークがあれば、どの線源がリークしているかを同定し、ただちに除染もしくは廃棄処分にする。

3・5 線源位置取得と線量計算法

小線源およびRALSの双方とも線源強度の校正だけで投与線量を計画線量の±5%以内の精度に持ち込むことは不可能である。それは、仮に線源強度の測定が1%の精度であったとしても、線量計算の最終結果は線源位置取得と線量計算法の精度に大きく左右されるからである。

たとえば線源強度が約1%、線源位置取得が約4%、線量計算法が約4%のそれぞれ精度であったとすると、この3者全体の精度は $\sqrt{1^2+4^2+4^2} \div 5.7$ からおよそ6%程度になってしまう⁸⁾。

したがって線源位置取得と線量計算法は、小線源治療やRALS治療の物理的品質管理の中で大きいウェイトを占めることになるが、この問題については資料も多い⁹⁾のでここでは省略する。

4. 線源購入から廃棄まで

4・1 線源購入

新しく線源を購入するにあたっては、設備を整えるとともにあらかじめ障害防止法、医療法などに従った使用許可申請および届出が必要であり、申請後許可が下りるまで日時(約3か月)がかかる。しかし将来使うかも知れないということで具体的に購入計画のない線源を、許可申請するのは望ましくないとされている。多分これは、許可証記載の線源はその施設にあるものと考えられるからであろう。

4・2 線源台帳

法に従った線源使用記録とともに、さまざまな線源に関するデータは記録、保管しなければならない。とくに長寿命線源の仕様書、検定書などの添付資料は、万一の資料の紛失に備えてコピーを作製して複数箇所保管するのが良い。

記録には線源そのものに関する線源台帳を備えるべきであり、線源台帳記載事項には、下記のような項目が必要であろう。

①線源の名称、形式、②製造業者、製造年月日、③購入年月日、④購入責任者名、⑤購入業者名、⑥核種、強度、⑦仕様（組成、構造）、⑧線源格納場所、コンパートメント番号、⑨使用にかかわる許可年月日、⑩廃棄年月日、⑪廃棄従事者名、⑫廃棄時の強度・方法、⑬廃棄業者名、⑭廃棄責任者名 など。

4・3 線源更新

まず、線源にはその半減期以外に寿命のあることを承知しなくてはならない。Raの半減期は1620年とされ、治療担当者の数世代は減衰補正の必要もなく使えるものと考えられがちである。しかし、RaをCsに置き換えるべきであるというICRPなどの勧告は、RaにはRnのリークの可能性があり、リーク時の危険があることによる。Ra針あるいは管は良く知られているように白金のケースで2重に密封されていて、普通の使用ではリークに対して安全のように見えるが、使用の頻度と扱い方によって、リークなしに20年はとても使えないようである。同一時期に購入したRa針25本のかかなりの本数が20年経たずにリークを見た例がある。

定期的リークテスト（少なくとも年1回、リークが疑われるときはただちに）が必要なゆえである。刺入時に力がかかって、胴の部分でわずかに曲がった針を見掛けることがあるが、このような針はほぼリークしているか、リーク予備軍と見たほうが良く、リークテストをするべきである。もちろん外観上まったく異常のないものでリークするのがあるから始末が悪い。下記のCs針、管の例からも使用頻度と扱い方に大きく依存するであろうが、Ra針、管も一応10年程度を機械的な強度の目安とするのが良いのかも知れない。

放射性気体のリークがないだけにCs針は安全であるが、Cs管で先端溶接部が外れ管から青灰色の固体の線源らしきものが転がり出た事例を見ている。幸いにもこの場合には周囲の汚染はなかった。この例では管の数を数えただけでは不十分であったと思われ、目

視で線源の形がいつもと違うことに気が付いたのが大事に至るのを防いだものである。

アマシヤムのCs針カタログには約10年の使用期間と書かれ、また3MのカタログではCs針、管はリースの場合の標準更新期間を7年としている。MouldはCs線源の機械的寿命（mechanical life）を約10年とみている¹⁰⁾ようである。これからCs針、管の寿命は、およそ10年と考えるのが良いと思われる。

そして、新しく購入するCs針、管の納期には、およそ3か月必要と聞いている。

Ir線源の半減期は74日であり購入時に問題となるのは貯蔵能力で、少なくとも線源供給に対応して3回に1度程度は使用済み線源を返却しない限り、減衰して使用できなくなった、しかし線源強度はまだまだという線源が施設にたまってしまいうことである。それらを含めて返却までの貯蔵能力を検討しておかねばならない。Ir線源の完璧な線源強度管理ができれば、Pater-son-Parker ruleのhalf intensityの線源として使える可能性もあるが、同一形状ゆえ線源強度を間違えると危険であり、使用者以外のしっかりした線源管理者が得られない限りできない相談かも知れない。線源更新は2-3か月に一度で良いと考えている。

しかし、日本原子力研究所製Ir線源の出荷は、ヘアピンとシングルピンは3か月周期、ワイアは2か月周期となっている。その注文締切日は出荷日より2か月ほど前になるので、具体的スケジュールは日本アイソトープ協会に問い合わせるのが良い。

Auグレインは半減期が2.7日であるから、使用の都度購入することになるが、毎週月曜日出荷されることになっている。Iシードは輸入品であり急いでも間に合わないを見てよく、残念ながらわが国ではたとえ半減期60日でもよほど適応患者の多い施設でなければ、あらかじめ購入してストックしておくことなどできないことである。

4・4 線源廃棄

リークや破損した線源は速やかに廃棄処理するべきで、Raはできるだけ小さなガラス容器に溶封し、Csも密封できる容器に納めた上で鉛容器内に安全に格納する。その上で、このような長寿命線源の廃棄は定期的に行う性質のものではないから、そのつど日本アイソトープ協会と具体的廃棄方法について相談することになる。

一方、ある程度定期的な廃棄処理を必要とする減衰した使用済みIrの場合は、返却という形で日本アイ

ソート協会に処理を依頼することになっている。具体的な線源返送方法および書類は、返却依頼をすれば送られてくることになっている。

Au グレインは半減期が2.7日であるから、使用しないで残った線源は、微小なもので格納容積もとらないから十分減衰して線源強度が無視できるようになるまで、鉛容器に納めたバイアル瓶などに入れ貯蔵室内に安全に保管し、使用許可または届出数量を超えないよう適宜日本アイソトープ協会に引取りを依頼する。

Ra, Cs などの長寿命線源の数が廃棄で減った時は、許可証の書き換えが必要になる。

5. おわりに

大げさかも知れないが、密封小線源治療に携わったことのある人は、線源紛失の大事に至らないまでも一度や二度ぐらい紛失寸前までいってひや汗を流した経験をお持ちではなかろうか。触れぬ神にたたりなしと言うものの、密封小線源を扱う以上紛失事故は起こり得るものと考え、それを踏まえたうえで基本はゆるがせにせず、かつ施設の特性、条件に合わせ安全利用できる管理体制を組み立てることが望まれる。

画一的な面もある外部遠隔照射法に比べ、変化に富み個別化せざるを得ない組織内照射法を初めとする密封小線源治療は、2月号で橋本先生が述べられたように、疾患によって優れた治療法であることは論をまたない。2月号からの講座が、放射線防護を含めた密封小線源の安全取扱いを目指す人々に、いくらかでも役立てば幸いである。

George は、その編書¹¹⁾の中に「日本人は放射線被曝に大変ナーバスで、これが日本の小線源治療の進歩をさまたげてきた。重松がその理由を指摘し……」と書いた。術者被曝はおそろかにできない問題であるが、それを大幅に軽減できるアフターローディング法がすでに腔内照射では一般化しつつある。さらに近着のHPA Bulletin は¹²⁾、Ir ワイヤまたはフレキシブルなCs線源を用いたLDR/MDRのinterstitial remote afterloading systemの市販品を紹介しており、組織内照射も遠隔制御の時代に入ろうとしている。

より安全な密封小線源治療が、熱意と知識にあふれる人々、新しい線源、術式、装置を得てさらに発展することを願いながらこの項を終わる。

おわりに筆者の一人が有益な助言を頂いた大阪大学

医学部真崎規江助教授、池田 依講師ならびに日医放物理部会誌 Supplement 23¹³⁾から引用を許された同誌編集委員会の好意に感謝する。

文 献

- 1) Schmidt, G.D.: Radium hazards and radiation exposure. Afterloading in radiography, (Simon, N., ed.), pp.14-33, DHEW Pub. (FDA) 72-8024 (1971)
- 2) 厚生省医務局指導助成課長通知, 昭和49年7月9日, 指第51号, 「診療用放射線の安全管理の徹底について」(現在, 健康政策局指導課)
- 3) ICRP Publication 44: "Protection of the patient in radiation therapy", Pergamon Press, Oxford (1984)
- 4) AAPM report No.13: Physical aspect of quality assurance in radiation therapy, Am. Association of Physicist in Medicine, Am. Institute of Physics, New York (1984)
- 5) ICRU Report 38: Dose and volume specification for reporting intracavitary therapy in gynecology, pp. 4-5 (1985)
- 6) B.C.R.U.: Specification of brachytherapy sources, *Brit. J. Radiol.*, **57**, 941-942 (1984)
- 7) 川島勝弘, 他: 高線量率アフターロードの出力測定, 日医放物理部会誌, **1**, 3-10 (1985)
- 8) 佐方周防: RALS用線源の線量計算における誤差, 放治システム研究, **2**, 283-294 (1985)
- 9) たとえば; 重松 康編著: 「癌の臨床別集, 密封小線源治療—腔内, 組織内照射法の実際—」, 篠原出版, 東京 (1980); 田坂 皓編: 「放射線医学大系 34巻, 放射線物理」, 中山書店, 東京 (1984)
- 10) Mould, R.F.: "Radiation Protection in Hospital", p.106, Adam Hilger Ltd., Bristol (1985)
- 11) George III, F.W., ed.: "Modern Interstitial and Intracavitary Radiation Cancer Management, Cancer Management, Vol. 6", Masson Pub. USA, Inc. (1981)
- 12) HPA Bulletin, p.22, Dec. 1986, The Hospital Physicists Association
- 13) 速水昭宗: 品質管理(その2)密封小線源, 日医放物理部会誌, Supplement 23, pp. 49-74 (1986)