

イリジウムおよびコバルト小線源による局所被ばく事故

●——— 鈴木 元 (放射線医学総合研究所 放射線障害医療部)

1998年6月30日に沖縄と長崎で2件の局所被ばく事故が発生した。既に新聞紙上で報道されているので、事故の概要および放医研での検査結果について簡単に報告する。

沖縄の事故は、琉球大学の医学部で起きた。今回被ばく事故を起こした装置は、RALS装置と呼ばれるもので、子宮がんなどの放射線治療に用いられる。ワイアーの先端に装着されたイリジウム192線源(1.2mm長、事故当時275GBq)は、格納容器と照射部位を繋ぐガイドラインの中を、コンピュータ制御によるワイアーの出し入れにより移動する。線源は4~6カ月毎に交換をしなければならないが、多くの施設で放射線科の職員がその交換操作作業に当たっている。今回の事故は、線源の交換時に起きた。通常はコンピュータ制御で交換作業が進むのであるが、作業員の初期操作ミスにより線源を先端にもつワイアーが折れ曲がってしまい、自動交換作業ができなくなった。そこで、手動で線源交換作業を行うことになった。その際に、ワイアーの線源付着端ともう一方の接続端を誤認するミスを重ねた。このため、1名の作業員がワイアーの折れ曲がり直そうとした際に、その部位が線源付近と気づかずに作業し、短時間であるが直接線源に触れてしまった。事故当時に琉球大学の担当教授と連絡を取りあったが、患者本人の希望もあり7月7日に被ばくした職員2名が放医研に入院した。

長崎の事故は、三菱造船所で非破壊検査を行っている三菱検査棟で起きた。M型と呼ばれる非破壊検査装置は、基本的にはRALS装置と同じような構造を持っているが、手動であること、リリースワイアーや線源のサイズが大きいこと、167GBqのコバルト60線源を装着していたなどの特徴がある。当日の非破壊検査では、格納容器から検査対象の蒸気タービンノズルの溶接箇所まで伝送管を伸ばし、リリースワイアーの長さを調節する事により格納容器から照射部位まで線源を移動さ



写真1 7月28日入院時第2指のDIP関節より末梢のチアノーゼと水疱がある。

せていた。事故は、リリースワイアーの接続が外れてしまい、伝送管の中に線源が残ってしまったことにより始まった。作業員が伝送管を外し、伝送管に残った線源を手動でワイアー操作しながら格納容器に戻そうとしたが、その際伝送管の左右を取り違えてしまった。このため、実際に格納容器に戻ったのは線源のリリースワイアー接続端であり、線源本体は格納容器の外に露出したままであった。それに気づかずに1名の作業員が線源部を素手で持ち、ねじ式のリリースワイアーと線源の接続を30~60秒間ほど試みた。線源の露出している部屋での全作業時間は、5分間であった。作業員は、被ばく後11日頃から右第1および第2指の指腹部に自発痛を伴う発赤が出現し、20日頃から水疱が出現したため、7月28日に放医研に入院した。

放医研に入院後、①事故状況の聞き取り調査による線量の推定作業、②染色体分析による被ばく線量の推定(2動原体や環状染色体の出現頻度より推定)、③NMRアンギオやサーモグラフィーによる局所循環の把握、④爪の電子スピン共鳴(ESR)による線量推定などを行った。

沖縄の被ばく事故症例は、特段の臨床所見・検査所見がなく、聞き取り調査による線量推定が主な作業となった。線源から1~2cmの部位のワイアー曲がり直す作業を10秒行い、その間1秒直接線源に触れたと仮定した場合、指の皮膚接触面の線量は13Sv、1cm²の平均線量は0.3mSvと計算された。放射線熱傷が全くなかったことから、被ばく線量はもっと低い可能性がある。胸部のフィルムバッジの記録は、2.3mSvであった。

他方、長崎の三菱検査の被ばく症例は、右第1、2指指



写真2 8月4日水疱部分に内出血の痕跡があるが乾燥し始め、チアノーゼも解消。

腹部に放射線熱傷Ⅲ度(一般の熱傷分類Ⅱs相当)、左第2、3指手背側に放射線熱傷Ⅰ度の確定的影響があり、その部位周辺にサーモグラフィー上低体温部位(末梢循環不全を反映)を認めた

(2ページ下段に続く)

体表面汚染時の測定と皮膚の線量

山口 武憲 (日本原子力研究所 保健物理部)

原子力施設の事故では、一般に複合核種による体表面汚染が考えられる。 β ・ γ 線放出核種の場合、被汚染者の皮膚被ばく(主に β 線による)が重要であり、また、医療要員の受ける外部被ばく(主に γ 線による)も重要である。一方、 α 線放出核種の場合、 α 線の飛程は短く、被汚染者の皮膚への線量寄与は無いものの、汚染部位との接触、除染時の α 核種の飛散による経口摂取や吸入による内部被ばくが重要となる。

ここでは、被汚染者の体表面汚染測定に用いられる β 線用サーベイメータの換算係数と線量評価、および体表面汚染と医療要員が受ける外部被ばくを中心に述べる。

1 被汚染者の体表面汚染測定と線量評価

β ・ γ 線放出核種の測定では、 β 線を主に計測する端面型のGM管式サーベイメータが広く用いられている。測定に際しては、サーベイメータの表面を薄いビニール等で覆ってサーベイメータの汚染を防止しながら、体表面に密着させて測定する。以下では、A社のTGS-133型を例として、その特性を述べる。

(1ページより続く)

(写真1)。NMRアンギオでは、中血管の狭窄像はない。入院時に右第1指DIP関節より末梢に著大なチアノーゼを認めたが、トレンタル投与後改善した(写真2)。爪のESRシグナルは陰性であった。ロシア共和国のグゼフ氏の情報によれば、指のESRシグナルは不安定であり、被ばく後3週以内で消失するという。本症例は、被ばく後4週で放医研に来たため、検査時期を逸した可能性が高い。本症例は、フィルムバッジを外して作業を行っていたため、全身被ばく線量の推定が重要であった。2動原体や環状染色体は、100mSvを越す全身被ばくで増加し始める。本症例では、1060個の細胞を観察して2細胞で出現を認めた。しかし、このレベルの出現頻度は、一般正常人でも出現する頻度値の範囲内でもある。一方、聞き取り調査での全身被ばく線量推定は5.5mSvであった。局所被ばくは、何秒間線源を保持したかで大きく変わる。記憶が不確かなこともあり、再

(1)サーベイメータの換算係数と表面密度

線源から放出される β 線がサーベイメータの窓から入射する場合、そのエネルギーに応じて計数率(cpm)が異なる。これを機器効率と呼んでいるが、下表に示すように β 線の最大エネルギーに依存している。

[表1] GMサーベイメータの機器効率¹⁾

核種	半減期	β 線最大エネルギー(放出率)	機器効率
Pm-147	2.62年	0.225MeV(100%)	28.3%
Co-60	5.27年	0.318MeV(100%)	36.9%
Cs-137	30.0年	0.512MeV(94%) 1.17MeV(6%)	56.3%
Cl-36	3.01×10 ⁵ 年	0.709MeV(98%)	58.7%
Tl-204	3.78年	0.763MeV(97%)	59.3%
U ₃ O ₈	4.47×10 ⁸ 年	2.29MeV(98%)* ¹⁾	74.3%

*¹⁾は β 線最大エネルギーはPa-234mから放出される β 線である。

体表面の汚染部位から放出される β 線の放出割合を100%とした場合、線源の外表面に出てくる β 線の割合を線源効率と呼んでおり、線源から放出される β 線が線源内部で自己吸収されれば線源効率を低下させ、後方散乱されれば線

現実験では30秒から60秒の間までしか狭めることはできなかった。60秒保持として計算すると皮膚表面で43Sv、1mm深部で28Svとなる。水疱は、20Svを越す局所線量で出現することから、この推定線量は妥当であろう。治療は、放射線による血管内皮細胞障害による末梢循環不全を改善する目的でトレンタルを服用させ、水疱は保存的に消毒のみで経過観察した。水疱の軽快をみたため、8月10日に退院とした。放射線熱傷は再燃性が高いため、今後確率的な放射線影響の出現も含めて経過観察を続けたい。

(以上の作業は、線量評価を担当した富谷・平岡(放射線科学)、西澤(人間環境)、佐方(治療・診断)、ESR検査を担当した白石・米原(人間環境)、染色体分析を担当した早田、南久松(障害基盤)の諸氏、および障害医療部と治療・診断部のスタッフとの共同作業である。)

源効率を増加させる。上記核種のエネルギー範囲であればその値に幅はあるものの、50%程度と見て良いであろう。以上の機器効率と線源効率を乗じることにより、サーベイメータの入射窓面積20cm²当たりの放射エネルギー(Bq)を得るための換算係数((Bq/20cm²)/cpm)が得られる。β線サーベイメータ校正用としては一般にU₃O₈線源が使用されており、その換算係数は約0.045であるが、図1に示すようにβ線エネルギーが低くなれば換算係数は高くなる。

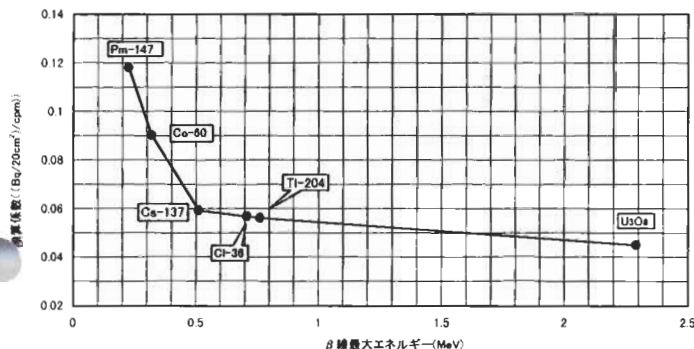


図1 β線最大エネルギーと換算係数

いくつかの核種を例に、そのβ線最大エネルギーとGMサーベイメータの換算係数(cpm値から窓面積20cm²当たりの放射能を求めるための係数)との関係を表している。

汚染部位の放射能面密度(Bq/cm²)を求めるには、得られた放射エネルギーをサーベイメータの入射窓面積(20cm²)で除して求めるが、汚染部位がこれより小さい場合、汚染部位を特定するため、約2.5MeVのβ線を遮へいできる6mm厚のアルミニウム板、あるいは2mm厚の銅板を用いて入射窓面積を狭め、汚染面積を決定する必要がある。

(2) 汚染部位の線量評価

汚染部位の放射能面密度が決定したら、次に皮膚の吸収線量率((nGy/h)/(Bq/cm²))を求める。この吸収線量率について、ICRU(国際放射線単位・測定委員会)は、体組織を水に置き換え、皮膚汚染を模擬して計算した結果をReport 56²⁾で示している。その核種数は123核種で、面線源の形状は円形、面積は1cm²と100cm²の2種類であり、放射能面密度は1Bq/cm²である。図2に、いくつかの核種について、β線最大エネルギーと吸収線量率を示す。ただし、ある核種が複数のβ線を放出する場合、β線最大エネルギーには、主要な被ばくを与える最も放出率の高いエネルギーを示した。従って、I-131やCs-137は複数のβ線を放出するため、図2の曲線から外れている。この吸収線量率を用いることにより、皮膚の単位面積における1時間当たりの吸収線量が得られる。汚染面積との関係はどうか。ICRP(国際放射線防護委員会)の勧告書(Publ.60)では、放射線作業員に対して、皮膚の確定的影響を防止するための年限度値を、被ばく面積にかかわらず、任意の1cm²にわたり平均して500mSvとしている。従って、皮膚被ばくでは、汚染部位の1cm²当たりの吸収線量率とともに、

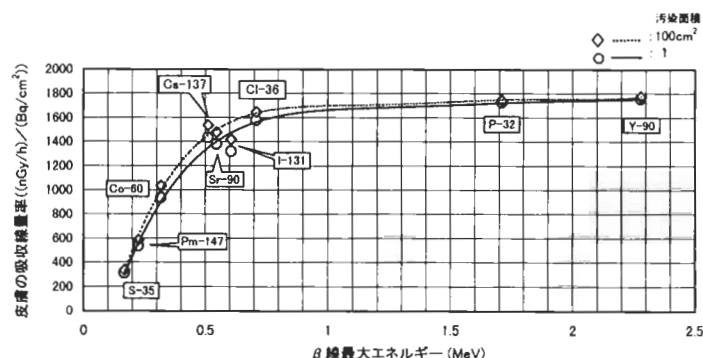


図2 β線最大エネルギーと皮膚吸収線量率との関係
いくつかの核種におけるβ線最大エネルギーと皮膚の単位放射能(Bq/cm²)当たりの吸収線量率(nGy/h)との関係を表している。

汚染面積を記録しておくことが必要であろう

2 体表面汚染と医療要員が受ける外部被ばく

被汚染者に医療処置を施す際に、医療要員が装着する防護服や防護マスク、メガネなどにより線源からのβ線の多くは遮へいされるので、γ線による外部被ばくが重要となる。汚染部位と身体幹部との距離は通常、30~40cmは確保されると考えられるので、汚染面積が大きくなれば、汚染部位を点線源と見ても外部被ばく評価上、大差はないと考えられる。そこで、いくつかの核種について、点線源に対する1cm線量当量率定数((μSv/h)/(MBq/m²))を下表に示す。1cm線量当量とは、透過性放射線(γ・X線)のエネルギーの違いにかかわらず、主要臓器の受ける線量を一義的に表すためのものである。この定数は、線源との距離が1mの時、放射能1MBq当たりの線量率(μSv/h)を表しており、線量率は距離の二乗に逆比例する。従って、汚染部位との距離が30cmになれば、その線量率は距離1mの場合の約11倍となる。さらに、距離30cmでも汚染面積が100cm²になれば、この定数は下表のように10%前後大きくなるので、面積が広ければ定数を大きめにとって線量評価する必要がある。

〔表2〕 γ線エネルギーと1cm線量当量率定数³⁾

核種	γ線エネルギー (放出率)	1cm線量当量率定数 (μSv/h)/(MBq/m ²) [点線源で距離1m]	距離 30cmの 定数	面積100cm ² 円形、距離30cm の場合の定数
Cr-51	0.320MeV(10%)	0.00558	0.062	0.071
Mn-54	0.835MeV(100%)	0.127	1.4	1.6
Co-60	1.173MeV(100%) 1.333MeV(100%)	0.347	3.9	4.1
I-131	0.364MeV(81%) 0.637MeV(7.3%)	0.0648	0.72	0.82
(Cs-137) Ba-137m	0.662MeV(85%)	0.0963	1.1	1.2

参考資料：1)JAERI-M92-144, p229-231, JAERI, 1992.

2)ICRU Report 56, ICRU, 1997.

3)アイトープ手帳, (社)アイトープ協会, 1990.

核医学検査に伴う患者の被ばく線量について

●——— 山口 寛 (放射線医学総合研究所 第3研究グループ)

疾病の診断、そして最近は一部治療として、各種の放射性医薬品が核医学で使われている。診断と治療とでコンセプトが異なるので、ここでは診断に話しを限ることにする。放射性医薬品とは医薬品に放射性元素(RI)を標識した(化学結合させた)ものの総称である。検査したい器官の機能、または疾病の種類に応じて医薬品の種類(化学形)は異なる。また、この部分は医学研究の進歩により、より良い医薬品へ置き換えられていく歴史をたどっている。他方、放射性元素(RI)の方は、患者の体内から発する放射線を体外計測する検査機器の事情で主に決められる。現在はほとんど^{99m}Tcが使われている。このRIは0.14MeVのガンマ線を一本しか出さない便利さがある。このためハード面の条件をある程度固定でき、結果として質の高い画像が得られるようになってきている。

標識するRIの選択に関わる留意点のもう一つは患者の放射線被ばく線量である。検査にともなう患者の利益を最大限大きくしたいという考えが背後にある。検査にともなう患者にとってマイナス要因は放射線被ばく線量である。それを小さくするようなRIを選択することが望ましい。幸いに使用されてきたRIの種類の変遷の歴史はそのように被ばく線量が減る経過になっている。そして現在^{99m}Tcがもっぱら使われている。即ち^{99m}Tcは被ばく線量の面でも優等生である。

現在使われている放射性医薬品の代表例を別表に示す。

平均的投与量をMBq(メガベクレル)で、放射線防護上注目する臓器の吸収線量を μ Gy(マイクログレイ)で示す。MBq=10⁶崩壊/秒で μ Gy=10⁶ジュール/kgでそれぞれ放射能と吸収線量の単位である。以前の単位への変換は、1 Bq=2.7×10⁻¹¹Ci(キュリー)、1 Gy=100rad(ラド)で行える。このGyの単位を放射線防護でよく使われるSv(シーベルト)単位と読み替えてもよい。RIから放出される γ 線や β 線を問題とするかぎり両単位とも数値は同じである。この表から核医学検査での一回当たりの被ばく線量の大きさの程度を知ることができる。

さて、いわゆる放射線作業場または一般環境での被ばく事故のことに触れたいと思う。今仮に、⁶⁰Coが10⁴Bq体内へ取り込まれたような事故が発生したとする。被ばく線量はどれくらいになるであろうか。

放射線防護に携わる者は一番初めに被ばく線量の最大値を推定することから始める。即ち過大評価になるように仮定を設定する。この場合では、⁶⁰Coは全身の中心に点線源として存在し、しかも体外に全然排泄されないとする。そして、その取り込みが20歳で起こり、70歳で死ぬまで排泄されない状況が続いたと仮定する。その条件で死ぬまでの積算被ばく線量を算定する。結果は7,600 μ Gy(=7.6mGy=7.6mSv)となる。算定方法は別表に与えられた値の算定方法と一部を除き同じである。体内に取り込まれたRIが一点に集中することはなく、通常は空間的に一様に分布すると仮

〔表〕 放射性医薬品による患者の被ばく線量

診断器官	放射性医薬品	投与量MBq	吸収線量(μ Gy)		
			卵巣	精巣	被ばく注目器官
脳	^{99m} Tc DTPA	440	836	616	10,560 腎臓
甲状腺	^{99m} Tc パーテクナイト	37	170.2	118.4	3,404 甲状腺
心臓	^{99m} Tc hSA	560	3,024	3,024	5,180 血液
	²⁰¹ Tl クロライド	74	5,994	5,994	8,140 腎臓
肝臓	^{99m} Tc コロイド	56	84	16.8	5,152 肝臓
腎臓	^{99m} Tc DMSA	74	458.8	281.2	14,800 腎臓
肺	^{99m} Tc マイクロスフェアー	74	118.4	74.0	4,275 肺
骨	^{99m} Tc ピロホスフェイト	370	1,517	1,517	3,515 骨髄

出典: Roeder, Kaul and Hine+ Internal Radiation Dose in Diagnostic Nuclear Medicine, Verlag H. Hoffmann, Berlin, 1978.

(5 ページ下段に続く)

1 放射能汚染を伴った救急患者の診断と治療に必要な放射線学的基礎知識(つづき)

3)放射線の生体への影響

放射線の生体への影響については、多くの成書があり、膨大な量の研究が発表されている。ここでは生体への障害的影響について述べる。

放射線の生体への障害的影響に関しては、さまざまな観点からの分類、整理がなされている。例えば、放射線防護の観点からは、影響と線量の間、閾値の存在する確定的影響(皮膚炎や皮膚潰瘍、白内障、不妊など)と閾値の確認されていない確率的影響(発がん、遺伝的影響など)にわけられ、病理学的には障害の発症時期から急性障害(皮膚炎や急性放射線症など)と晩発性障害(発がん、白内障など)に分類される。また事故被ばくの場合には、全身性被ばくかあるいは身体への部分的、局所的被ばくかによって考慮すべき症状、傷病が異ってくる。そこで臨床的にはこれらの複合的な把握が必要となる。

●急性放射線症

全身性の被ばくが中心となり、過去の経験では外部被ばくによって発症することが多かった。ただし、臨床的に把

握しうるのは全身被ばくで0.25Sv(250mSv)以上の被ばく線量である。典型的な急性放射線症は悪心、嘔吐、脱力感、下痢、皮膚の発赤などの前駆症状があり、潜伏時期を経て発熱、腹痛、出血、感染症、リンパ球、顆粒球、血小板の減少がみられる。被ばく線量別の症候群は、2~7Gyで血液症候群、7~20Gyで消化管症候群、20~50Gyで心血管症候群、50Gy以上で中枢神経症候群の発症と大別されている。

●次の障害発生には被ばく線量の閾値が認められている。

いずれも一回被ばくの場合である。

(単位Gy:グレイ)

1)皮膚の紅斑、発赤		6~8
2)皮膚の水疱、湿性		20~40
3)皮膚での潰瘍形成		75
4)一時的な不妊(回復する)	♂	0.15
	♀	0.65~1.5
5)永久不妊(回復しない)	♂	3.5~6
	♀	2.5~6
6)白内障	低LET	2~10
	高LET	0.6~5
7)造血臓器機能低下		0.5
8)胎児奇形		0.1

(4ページより続く)

定して被ばく線量は算定されている。別表の値もその仮定で求められている。しかし、別表の値は、投与されたRIが生物学的半減期に従い排泄されることを考慮に入れて算定されているが、⁶⁰Coが全然排泄されずRIの物理的半減期だけで減るとするのは極端な仮定である。そのため、算定値7.6mSvは目一杯の過大評価値である。逆に、この被ばく線量より大きくなることは決してないと断言できる。

そして、次にもう少し現実に則した算定へと移る。通常、国の法律である放射線障害防止法に従った算定を行うことになる。放射線障害防止法にある算定の基礎におく数値はこれまでの被ばく線量の検討の集大成であるから、その算定値は法律上意味があるばかりでなく、医学的判断をくさす上でも意味のある数値である。その算定結果は

0.7mSvとなる。ちなみにJAMMRA創刊号で鈴木氏の記事で紹介されている方法、すなわちICRP1991年勧告の作業者の年間摂取限度ALI値を用いて算定してみる。20mSvの預託線量当量をあたえる⁶⁰Co酸化コバルトの吸入量は 4×10^5 Bqであるから、 10^4 Bqの吸入被ばくでは0.5mSvとなる。

これらの算定結果をもとに、国の規制値、放射線作業員50mSv、一般公衆1mSv、等の値を念頭において事態の緊急性を把握したり、さらには核医学検査の一回当たりの被ばく線量などを参照したりして医学的緊急性を判断する。この場合、 10^4 Bqの⁶⁰Co吸入被ばくは、一般公衆の規制値1mSv以下ということになる。または、一回当たりの核医学検査の被ばく注目器官の線量の約10分の1程度であるということになる。放射線防護管理者、診療にあたる医師はこれらをもとに適切なアクションの検討へ入る。

●放射線被ばくと発がん

放射線被ばくと発がんの関係については、広島・長崎の被ばくデータから多くの重要な結果が得られている。被ばく線量と発がんの関係に閾値は認められず、0.2Gyから被ばく線量が増加するに従い、発がん頻度が有意に上昇しはじめている。増加が認められているがんは白血病(慢性リンパ性白血病は除く)、甲状腺がん、肺がん、乳がん、胃がん、大腸がん、卵巣がんなどである。

●染色体異常

全身的な放射線被ばくにより末梢リンパ球の染色体異常の出現頻度が上昇する。検査により確認できるのは被ばく線量が50~200mSv以上である。

●遺伝的影響

放射線生物学では1927年のマラーの突然変異の発表以来、放射線による遺伝的影響が懸念されてきた。しかし、広島・長崎からのデータではその遺伝的影響は対照群に比して有意の上昇は認められていない。

4)被ばくの臨床

●急性放射線症

臨床上の留意点としては全身被ばくであること、被ばく線量の早期評価である。特に1.0Gy以上か以下かの評価が必要となる。1.0Gy以下の被ばくでは、ほとんど特別な治療を要することなく回復する。1.5~2.0Gy以上の被ばくでは、骨髄抑制による造血障害、つまり出血と感染症対策が重要となる。5.0~6.0Gy以上になるとさらに消化管出血、下痢等の消化管障害が発症し、救命は困難となってくることが多い。

●体内汚染

放射線核種を吸い込んだり飲み込んだりすることにより、あるいは創傷部に付着してそこから体内に入り込み、それらが核種の種類により、特有の臓器へ沈着する。体内汚染が生じた場合、放射性核種は周辺の組織を照射し、内部被ばくを起こす。この場合、最も細胞、組織へエネルギーを単位体積当たり多く付与し、障害を起こす危険がある放射性核種は α (アルファ)線を出す核種である。代表例としてプルトニウム(Pu)やアメリカシウム(Am)、ラジウム(Ra)などがある。体内被ばくで現在最も重要視されている問題は、発がんリスクの上昇である。体内汚染時には、放

射性核種が臓器沈着を起こす前に、体内を移動中に例えば血液内、消化管内に存在している間に、治療としてキレート剤や消化管吸収阻害剤、下剤等を投与するのが効果的である。特にプルトニウムやアメリカシウムの体内汚染時には、DTPAの静脈内投与が有効なことが多いが、吸入したり創傷部汚染により体内に入ったときは、できるだけ早期に、できれば放射性核種の体内摂取後30~60分以内に最初の静脈投与が望まれる。

●創傷汚染

切り傷や刺し傷、擦過傷に放射性核種が付着したとき、特にプルトニウム、アメリカシウム、ラジウム等の α 核種であるときは体内に摂取されると内部被ばくが問題となる。創傷部に付着した放射性核種は化学形、創傷部のpH等の条件にも左右されるが、毛細血管等より体内に速やかに吸収されることが多いため体表面汚染の中でも優先して処置が行われる。創傷部の α 核種の同定(detect)には傷モニターが役に立つ。

●放射線熱傷

チェルノブイリ事故の消防士に顕著にみられ、放射線の種類としては β 線が主であった。 β 線熱傷は通常の高温熱傷と違い、疼痛の軽減に難渋したこと、発赤・紅斑・浮腫等の波状的出現、重傷感染症や多臓器障害の発症など臨床的に重篤な病態を示した。

●精神医学的側面

放射線事故時の患者の精神医学的な問題は、1970年代に、汚染患者を隔離的に治療したため、家族や社会からの孤立感が強まり、テレビ対面、対話を行った症例にその特徴が示されている。核実験のフォールアウトに対する住民の不安や1979年のスリーマイル島事故での住民のパニック、1986年のチェルノブイリ事故での被ばく住民のストレスは大きな問題としてあげられ、1990年にオークリッジの国際医学会議第3回"Medical preparedness of Radiation Accidents"でも放射線事故時の精神医学側面について集中討議された。この分野に関しても我々は注目すべきであろう。

2 放射能汚染を伴った救急患者の診断と治療に必要な放射線学的技術

基本的には除染であるが、その他処置の優先順位の判

断、臨床的に意味のある大まかな被ばく線量の評価や、今後この患者では何が臨床上問題となるかの予測、さらには入院か通院か、入院をどの医療機関で行うのか等、トータルで医師が考え判断すべきことも医師に要求されるSkillといえる。

●除染

放射性核種による汚染は生体にとって2つの大きな意味がある。一つは体表面や衣服に付着しているが、吸い込んだり、飲み込んだりしてあるいは、創傷部から体内に入り、核種によりさまざまな臓器に沈着して、その臓器の発がんのリスクを上昇させることがある。勿論リスクは核種の量に依存する。もう一つは、比較的まれであるが、体表面や衣服に付着した核種からの被ばくにより、生体が皮膚や造血臓器に障害をうけることがある。この2点を防ぐため、除染を行う。特に核種の体内摂取の予防は重要となる。現在、一旦臓器に核種が沈着すると人為的に排泄させることは困難で自然排泄が主となる。除染は核種の化学形により皮膚や創傷部の組織との結合により困難なことも希にはあるが、多くは拭きとりや洗浄で除去できる。できないときは、核種やその化学形による化学的性質に応じてpHの変化や溶解を起こさせる化学剤を用いる。最終的手段としては、組織の外科的切除がある。

なお、放射性核種の管理の基本として除染した核種を散逸させずに封じ込める、具体的には、ポリ袋やプラスチック容器に除染年月日、除染の対象となった人名、身体の部位を明記して保管し、後の核種の同定や汚染による被ばく線量の推定に用いる。

●処置の優先順位の判断

汚染に対する処置から始めるべきか、創傷処置から行うべきか等の判断である。判断の基準は、まず生命の維持であり、次に発生が十分予測される障害の深刻さによる。さらには放射線学的に早期処置の望ましいもの、1つは創傷汚染に対する処置と、もう1つは体内汚染に対するキレート剤の投与等である。無論これらも放射性核種の種類やその線量により、負傷状態とのかねあいで優先順位は変わってくる。

●臨床的に意味のある被ばく線量の迅速な評価

全身被ばくであれば1.0Sv以上か以下である。1.0Sv以下であればまず医療処置は必要とされないからである。内部被

ばくに関しては年摂取限度以下であれば、治療は特に必要としないが、10倍以上であれば体外排泄を促進するための治療が行われるべきである。全身被ばくに関しては、迅速で大まかな評価として1 Sv以上であれば被ばく後1時間以内に悪心、嘔吐、脱力感、皮膚の発赤等の前駆症状の発現が起こることを参考に行う。さらにリンパ球の減少、好中球の増加も参考となる。放射性核種の体内摂取が年摂取限度の10倍か否かはWhole Body Counterが迅速でかなり正確である。いずれも放射線管理(保健物理)の専門家が最も有用で、かつ信頼度の高い情報を提供してくれることを忘れないで頂きたい。

3 放射線管理(保健物理)の専門家との連携

保健物理という言葉は、医療関係者にはなじみの薄いものかも知れない。しかし緊急時医療を行う場合、医療スタッフと保健物理(放射線管理)の専門家は車の両輪としての役割を有し、この2者がうまく協力しあってこそ緊急時医療は円滑に適切に行われうる。緊急時医療に関し、彼らは汚染の管理、放射線防護、線量の測定・計測、被ばく線量の計算・評価・その解釈、放射性核種の同定・測定、内部被ばく線量の計算等のエキスパートである。

緊急時医療において、医療スタッフがどのような装備で臨めば安全であるか。患者の身体のどこに、どのくらいの汚染があり、汚染の内容である放射性核種の種類について、全体の被ばく線量などについて重要な情報を提供してくれ、さらには処置中の汚染管理についても適切な助言を行える立場にあるのが保健物理の専門家である。放射線管理区域が彼らの作業現場の1つである。

もともとは第2次大戦中、原子のエネルギーの開発(原子炉の建設、運転、再処理、核燃料の精製、原子爆弾の製造など)であったマンハッタン計画のなかで、大量の核分裂生成物をいかに安全に扱い、多数の研究者や、何万人もの作業員の健康を放射線障害から守るために組織された保健部門の中で、physicsを担当し、health physicsと呼ばれた研究者、技術者グループが彼らの出発点であった。原子力機構、原子力産業機構の中で放射線防護に関し、彼らの果たして来た役割は極めて重要で、今もその責任の重さは変わっていない。

(次号へつづく)

放射性物質の体外除去剤「キレート剤」

●————— 福田 俊 (放射線医学総合研究所 第3研究グループ)

はじめに

原子力だけでなく研究や工業分野における放射性核種の利用が広がるに伴って、事故によって汚染した人の処置対策の重要性が増している。放射性物質が体内摂取された場合、内部被ばくによる発がんなどの影響リスクを低く抑えるために、できるだけ早くかつ安全に体外へ除去する方法が検討されている。核種や摂取形態によっては、催吐剤、下剤や利尿剤などの一般的な処置法、あるいは安定元素による希釈などの方法で対応できる。しかし、放射性物質の摂取量が多かったり、毒性が強いなど、積極的に体外排泄の促進が必要と判断される場合には、除去剤(キレート剤)の適用が推奨されている。ここでは、代表的な除去剤であるDTPAについて述べる。

DTPA (Diethylenetriaminepentaacetic-acid)

DTPAは放射性毒性が強いプルトニウムやアメリシウムの対外除去を目的として開発された代表的な薬物である。これまでも欧米を中心に開発が進められている他のキレート剤もあるが、種々の研究環境の変化によりその多くは動物実験の段階にとどまっており、他方我々は中国との共同研究によりDTPAよりも高い除去効果が期待できる新しいキレート剤の開発を進めている。いずれにしても、現段階では多くの基礎研究が行われ、詳細な点では検討すべき問題

が残されているものの、人体への適用実績が豊富なDTPAが、緊急医療における放射性物質の体外除去剤として最も実用的な薬物といえる。そのDTPAの構造式を図1に示す。DTPAは表1に示すように、他の薬品に比べると、プルトニウムやアメリシウム以外にも多くの核種の除去に効果があると報告されていることから、DTPAについて理解することは重要であるので、主な特徴を述べる。

1) DTPAの作用

DTPAはこれまで毒性金属の除去に使用されてきたEDTAよりも多価の放射性同位元素と強力にキレート結合する。静脈内に投与されると50%が1時間後までに尿中に排泄される。DTPAが高い除去効果を現わすのは、摂取された放射性物質や金属が可溶性であり、かつ血中に存在している時に限られる。もし放射性物質や金属が酸化物などの不溶性

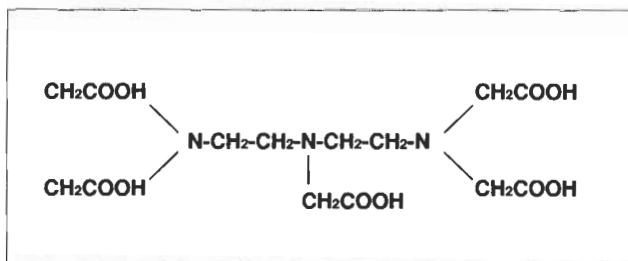


図1 DTPA

〔表1〕 主な除去剤と対象元素

除去剤	対象元素
DTPA	アメリシウム、カルフォルニウム、セリウム、キュリウム、ユーロビウム、インジウム、ランタン、プルトニウム、プロメチウム、スカンジウム、イットリウム、亜鉛、ジルコニウム-ニオブ
Dimercaprol(BAL)	ヒ素、金、ポロニウム
Penicillamine	水銀
Prussian Blue: ferric hexa-cyano ferrate (II)	セシウム、ルビジウム
EDTA	鉛

であったり、また可溶性であっても一旦臓器内に沈着した後では無効あるいは非常に低い。すなわち、DTPAの効果は、可溶性の放射性物質を摂取した後、できるだけ早く投与した場合に得られる。

2) Ca-DTPAとZn-DTPA

DTPA(H₅-DTPA)は不溶性で毒性が強いため、CaNa₃-DTPA(以下Ca-DTPA)あるいはZnNa₃-DTPA(Zn-DTPA)として使用される。2種類の塩がある理由は、毒性試験の過程でCa-DTPAを経口投与するとZn欠乏に起因する腸細胞のDNA合成阻害がみられたことから、Zn-DTPAが用意されたためである。Zn-DTPAを静脈内投与すると、血中Ca低下を起こす可能性がある。経口投与方法では両DTPAともに腸管からの吸収率は約5%程度で低いが、Zn-DTPAの長期投与例がある。Ca-DTPAとZn-DTPAのプルトニウムの除去効果には、条件によって差があるとの報告もあるが、一般的には除去効果と副作用を総合した結果から、初期にはCa-DTPAの静脈注射あるいは点滴法による投与方法が推奨されている。

3) 投与量と方法

(1) 静脈投与方法

Ca-DTPAおよびZn-DTPAの投与量は、成人に対する1日当たり1gである。投与は、1gを250mlの5%ブドウ糖または生理食塩水に溶解して、1時間以上かけて静脈内へ点滴する方法が推奨されており、週5日連続投与が可能とされる。

1日投与量が1gとされた理由は、多くの毒性試験の結果から安全と判断されたためである。実際にこれまで数百人に投与された結果においても、重大な副作用はみられていない。投与量に関しては、報告書によっては0.25あるいは0.5gと少ない場合もある。人体投与用として、Ca-DTPA、Zn-DTPAともに1gが溶解されたアンプルが準備されている。1日投与量を分割あるいは長時間連続投与すると強い毒性が表れるので、1回が基本である。

(2) 経口投与方法

経口投与方法は、事故後に短時間内かつ簡単に摂取できる

利点が期待されるが、腸管からの吸収率が約5%前後で低い。推奨投与量は副作用試験の結果から1gとされている。この投与方法は、長期間投与の必要性が生じた場合、Ca-DTPAの静脈内投与に伴う時間や行動などの拘束を避けるために用いられる。

(3) 吸入投与方法

注射投与方法に比べて簡単で、事故後に早期投与できる利点があり、また投与されたCa-DTPAの肺からの高い吸収率、体内滞留時間が静脈投与方法に比べて長いことや吸収摂取された放射性物質との効率的な結合が期待される。これまでの経験から、1日1gを2、3日投与しても重大な副作用は認められていないが、効果的な除去を得るための投与スケジュールは決定されていない。投与にはDTPA溶液をネブライザーで噴霧投与する方法とフランスのように0.1g程度の粉末をスピンヘラー(簡易型の粉末吸入器)を用いる方法がある。

4) 副作用および禁忌

成人に対する推奨投与量である1日Ca-DTPAの1gでは、重大な副作用は報告されていない。しかし短時間に繰り返し投与すると、24時間以内に嘔気、嘔吐、下痢、震え、発熱、掻痒感、痙攣が、また長期間連続投与によると亜鉛欠乏とこれに関係した無嗅覚症(7カ月以上の投与によって観察され、投与中止によって回復)が起こることが報告されている。投与期間の注意事項は、注入中の血圧監視、尿中のタンパクや円柱、下痢の発現で、これらの変化がみられた場合には中止する。禁忌としては腎臓疾患、未成年者、妊婦、重症の白血球減少症や血小板減少症、また吸入による肺疾患への投与がある。

5) DTPAの準備

第3次医療機関である放医研や核燃料取扱事業所などの緊急医療施設では、Ca-DTPAおよびZn-DTPAともに1gを溶解したアンプルが常時用意され、放医研の放射線障害医療部では緊急医療時の情報提供などの対応策が整っている。

福島原発地域の現状—特に災害時救急医療についての私見—

●——— 天 野 孝 八 (福島県立大野病院内科)

現在、環境をめぐる諸情勢にはめまぐるしいものがある。直面している環境問題としては、大気、水質、蓄積性有害物質による土壌の汚染がある。特に可燃性、非可燃性産業廃棄物処理問題については事の重大さがメディアを通じて連日のように報道されている。行政のみではなく、生産者、産廃業者、消費者が一丸となって解決にあたらなければならない。リサイクル出来るものは再生産し、資源の再有効利用が望まれるところである。

福島県浜通り地区(太平洋岸特に双葉地方)は有数の原子力発電所が密集し、稼働している地域である。東北地方でも当双葉郡は黒潮の影響により、冬は比較的暖かく、夏は涼しい気候に恵まれている。住民は一般的に穏やかな日々を送っており、生活レベルは一部を除いて中流程度が大部分である。その生活は原子力発電所に依存している面が種々あり、産業、労働、収入について大きな比重を占める。東京電力第一原発(六基)、第二原発(四基)立地という特殊な状況下では当然major troubleが問題になってくる。通常原子力による発電は順調に稼働しているが、一旦周辺住民に影響を及ぼすほどのmajorな事故の発生ともなればその衝撃は計り知れないだろうと思われる。昭和42年着工以来10基の原子力は地域住民を恐怖に陥れるような事がなかったことは幸いである。住民は平穏な生活を送っているが緊急時被曝、特に医療を要する被災者の対応を考えておくことは最優先的な課題である。当地の緊急時における医療訓練実施状況等を述べ最後に問題点について指摘することにする。

1) 訓練：緊急時医療訓練実施要領に則り、毎年秋に行われている。現地対策本部(長：副知事)を福島県双葉郡に

ある福島県原子力センターに設置し、直ちに現地本部医療班を編成す。関係各機関、市町村職員、医療従事者、日赤、東京電力や地域住民等の参加のもとにかなり大がかりなものである。

2) 原子力災害緊急時に係る検査除染施設(通称、保管庫)：福島県立大野病院(大熊町)敷地内に設置しており病院にて維持管理を行っている。この施設にはヨウ素397,000錠、ホールボディカウンター、GMサーベイメーター、除染用品(簡易入浴装置、ホリバス、酸化チタンヘーストその他)、防護用具類(白衣、作業衣、ホリエチレン手袋その他)、医療機器が保管されている。半年に一度補修、点検、必要なものの交換が行われている。

3) 原発(東電第一、第二発電所)：主要建物は35mの大地を掘削、地下10m、双葉活断層をさけ直下型地震M7.2に耐えうる強固な設計になっている。スリーマイル島(PWR)やチェルノブイリ(黒鉛炉)と異なり信頼性は高いとされている。最近pin hole等のminor troubleもみることはない。

4) 福島県立大野病院：緊急時に行政側より要請された場合スタッフが出勤することになっている。病院独自のtraining、医療system、出動体制にはなっていない。

5) ヨウ素剤の投与：双葉地区の人口は7万8千人余、保管庫、町村、保健所に十分な量が保管されており、定期的点検、薬剤の交換が行われている。

6) 原発周辺環境放射能測定：福島県原子力センター、東電第一、第二で毎日行われている。2カ月に一度の連絡会議に於いて結果が報告される。測定評価は広報誌に発表されている。原子力センター、環境医学研究所、福島県、町村、環境専門家より構成されており、今までのところ、環境安全評価

上問題になっていないようである。

7) 双葉郡医師会：今まで医師会内での話し合いや話題になったことはない。system作りは今後の問題である。

8) 疑問ないし問題点：小生が考えていることについて若干の私見を述べる。

行政側の組織は立派なものであり、訓練なども良く行われている。患者発生に対する対応も行き届いているようであるが、災害発生時は実際に平時の訓練のようにスムーズに行くかどうか。

大野病院は行政側の一部として位置づけられており、行政よりの要請により医療に加わることになっている。病院のスタッフは必ずしも被曝に対する知識、意識があるとは言えない。医師会も同様である。重症患者については放医研に搬送することになっているが、その決定は行政側に行うことになっておりスムーズにいくかどうか。

ヨウ素配布：まず日本人の場合には通常の摂取量が多いことが予想され、災害時に本当に必要かどうか、また投与する場合は放医研のアドバイスのもとに県、町村、住民と伝えられ、服用することになっているが、果たして短時間に出来るかどうか。東電の原発は安全性が高いと思われるが、より高度なる安全性への配慮は常時要求される。災害時の有機的な機能のためには更なる検討が必要である。

放医研での研究会で話題になったような、医療側独自の緊急医療展開部隊の組織づくりをも含めて考慮する必要がある。

それにはまず、行政側の医療担当者、放医研、大野病院、双葉厚生病院(双葉郡双葉町)、双葉郡医師会、福島日赤(福島市～原発地域まで90～100kmの距離)等での話し合いを持つことはどうだろうか。

放射線とは(Ⅳ) — 例を用いて説明する

● — 隈元芳一 (放射線医学総合研究所 特別研究員)

これまでに、テレビジョンのブラウン管の中を走っている電子も、その電子が衝突して発生する光と似た性質を持つ線も、それが物質内に深く入り込むエネルギーを持っているとき放射線ということ、放射線を放出する物質を放射性物質と呼ぶこと、放射線を測定するには放射線が作るイオンや光を利用することなどを、被曝した人に放射線を説明するというを想定して述べました。

さて、実際に被曝した人を前にして、原子と原子核の話をする時間があるかどうか分かりません。そこで、今回は身の回りの現象を用いて問答形式に放射線を説明してみます。質問者は同じ人ではありません。

「放射線とはおそろしいものでしょうか。」

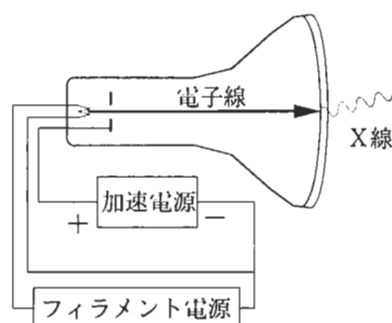
テレビジョンのブラウン管はごぞんじですね。あの中のパラメントからは電子が飛び出しています。電圧をかけてスピードをあげてやると、正面の蛍光物質に当たって光を出します。ごくわずかにX線を発生させます。正面ガラス面は厚くしてありますから、X線はそこで止まります。仮にブラウン管の正面のガラスを薄くしておきますと、電子もX線も空気中に飛び出しますが、もしこの正面に手を出すとまさしく放射線に被曝したことになります。ただし、透過力はそれほど大きくありません。

さて、私たちの体の中にあるカリウムのある種のものからも透過力の大きい電子やX線が出ています。ただし、物質から出てくる電子線はベータ線、X線はガンマ線と呼んでいます。ウランウムやプルトニウムからはアルファ線も出てきます。量の大小はありますが、

私たちは毎日放射線を浴びています。土の中にも多くのカリウムがあります。放射線を出す物質を放射性物質といえます。

「人の体に対する放射線の影響はどのようなものですか。」

X線の性質は光と同じです。普通の光はそれほど体内に入り込みませんが、紫外線は日焼けを起こしたり、細菌を殺したりします。放射線は体の奥まで進むことができるのが通常の光と違



ブラウン管の中の電子と電子の衝突によって発生したX線は放射線の始まり。X線は実際の管ではガラスで止まる。

うだけで、作用が起るときは、光と同じです。問題は量です。日焼けの場合も紫外線を過度に浴びるとやけど状態になります。放射線の場合も年間に浴びる自然放射線の量の10倍(約20ミリシーベルト)、100倍(約200ミリシーベルト)くらいまでなら急性の障害は起きませんが、500倍(約1000ミリシーベルト)となると吐き気を覚える人も出てくるでしょう。

「1000ミリシーベルトも浴びて、がんにならないでしょうか。」

統計的には数パーセントほどがん発

生の確率が増えます。しかし、今すぐ増えるというのではなく、平均寿命までの間に浴びない人よりこれくらいの確率が増えるということです。しかし、気にしないで治療したほうが体に良いと思います。

「体の中に放射性物質が入っているとされました。」

放射線の源、つまり線源が体の外にあるときは、一時的な被曝ですみますが、体内に放射性物質が入ると、継続的に被曝するので、いやですね。もちろん体表にくっついたものは良く洗い流してやります。問題は、自然に体内にある量と比べて多いかどうかです。もし多くの放射性物質が体内にあるときは積極的に排出するような薬品も使います。放射性物質はそれが化学的に有毒なものでなければ、放射性だからといって放射線以外の作用はありません。

「非破壊検査用の線源をさわってしまい、手に受けた放射線の量は相当多いと言われました。」

線源が370億ベクレル(1キュリー)のイリジウム192だったとします。この放射性物質からのベータ線はカプセルで吸収されますので出てくるのはガンマ線です。線源から1cmの位置に手を10分間置いたとします。皮膚の受けた放射線の量は8.5グレイ(Gy)です。ガンマ線と電子の場合はGyとSvは数値は同じです。線源が体から30cm離れていたとすると、体表での量は8.5Gy×1cm×1cm/30cm/30cm=約10mGyで急性の症状が現れることはありません。このように線源から距離を取ることがいかに大切かわかります。

島根原子力発電所の 身体除染訓練



施設より患者の搬出



除染室での訓練



除染室より搬出

4 号 目 次

巻頭言
イリジウムおよびコバルト小線源による局所被ばく事故
鈴木 元(放医研放射線障害医療部)
-1~2-

事例研究
体表面汚染時の測定と皮膚の線量
山口 武 憲(日本原子力研究所保健物理部)
-2~3-

核医学検査に伴う患者の被ばく線量について
山口 寛(放医研第3研究グループ)
-4~5-

研究レポート
汚染を伴う被災者の救急外来(Ⅳ)
衣笠 達 也(三菱重工神戶病院)
-5~7-

放射性物質の体外除去剤「キレート剤」
福田 俊(放医研第3研究グループ)
-8~9-

地域レポート
福島原発地域の現状—特に災害時救急医療についての私見—
天野 孝 八(福島県立大野病院内科)
-10-

基礎知識
放射線とは(Ⅳ)—例を用いて説明する
隈 元 芳 (放医研特別研究員)
-11-

編集後記
-12-

編 集 後 記

今年、福島、福井、島根の原発を訪問し地元の産業医や医師会の先生方と懇談する機会に恵まれた。その際にいただいた意見を、早速JAMMRA誌面に反映させてみた。現地で一番多かった指摘は、「患者さんほどの程度の体表面汚染や内部汚染があったなら医療スタッフは自己の被ばくを心配しなければならないのか」といったものである。今回、体表面汚染に関しては原研の山口氏に、また内部被ばくに関してはRI診断との比較で放医研の山口氏に執筆していただいた。

7月下旬、島根原発の被ばく患者救助訓練に参加した。この訓練には松江赤十字病院や松江市立病院の先生方も多数参加していただき、盛大に行われたことを報告しておきたい。これも石田先生の熱意と正岡所長のご理解の賜である。このような活動が各原発に定着することを願う。

8月8日には、第2回被ばく事故医療研究会および緊急被ばく医療フォーラムが東大構内の山上会館で行われた。研究会に119名(医師67名)フォーラムに131名の参加者があり、熱心な発表と討論が繰り広げられた。次号には研究会とフォーラムの特集を予定している。(鈴木 元)