研究論文

放射性物質による皮膚汚染の除染方法に関する実験的考察

草間朋子*¹, 伊藤 成*², 吉澤康雄*¹

(1986年1月17日受理)

(1986年3月28日再受理)

Experimental Study on Decontamination for the Skin Contaminated
with Radioactive MaterialsTomoko KUSAMA,*¹ Sigeru ITOH*² and Yasuo YOSHIZAWA*¹

The present study was conducted to investigate the decontamination procedure for the skin contaminated with radioactive materials; those were cobalt-58 ($^{58}\text{CoCl}_2$), mangan-54 ($^{54}\text{MnCl}_2$) and radioactive CRUD (Chalk River Unidentified Deposit) and the skins of pigs were used. The procedures and materials used for decontamination were as follows: (1) 0.5% Hyamin solution, (2) brushing, (3) acid soap, (4) stripping cream, (5) cosmetic cleansing cream, (6) potassium permanganate and sodium thiosulfate solutions, (7) titanium oxide paste, and (8) their combination. Each procedure was performed for 2 min, and repeated twice or 4 times at 15 or 60 min after contamination. The residual radioactivity after decontamination procedure was measured with a 2×2 inch NaI(Tl) scintillation detector or a solid state detector. The following sequential procedure was most effective: washing with 0.5% Hyamin solution for 2 min, brushing with acid soap, rubbing cosmetic cleansing cream and washing for 2 min with tap water. Since this procedure is simple and not irritable, it is appropriate for human skin. The residual activities on the skin after this decontamination were about 20, 20 and 10% for cobalt, mangan and CRUD, respectively. When the decontamination with 0.5% Hyamin solution began within 15 min after contamination, the residual radioactivity was 3% of administered activity, but 60% in the case 60 min after contamination. Thus, a noteworthy point for decontamination is to begin as soon as possible.

KEY WORDS: decontamination, skin, cobalt, mangan, radioactive CRUD, Hyamin solution

I 緒 言

放射性物質による身体表面すなわち皮膚の汚染は、体

外被曝および体内被曝の原因となるので、発生をできるだけ防ぐように放射線管理上の措置を講じなければならない。万一、放射性物質による皮膚汚染が発生した場合には、発見後ただちに適切な除染処置をとる必要がある。

汚染発生現場において実施される除染処置は、放射線管理の観点から、とくに次の三つの条件を満たしていることが最小限、要求される。

① 皮膚面に創傷をつくらない安全な手法であり、刺激が少ないこと。

② 誰でも容易に実施できること。

③ 除染効果が高いこと。

*¹ 東京大学医学部放射線健康管理学教室; 東京都文京区本郷 7-3-1 (〒113)

Department of Radiological Health, Faculty of Medicine, University of Tokyo; 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo.

*² 日本原子力発電株式会社労務部; 東京都千代田区大手町 1-4 (〒100)

Department of Labor Relationships, The Japan Atomic Power Company; 1-4, Ohtemachi, Chiyoda-ku, Tokyo.

放射性物質は、傷のない健常な皮膚からはほとんど体内へ摂取されない¹⁻³⁾。すなわち、健常な皮膚は、放射性物質の進入に対して生理的な障壁となる。しかし、皮膚に傷がある場合には、それがどんなに小さな傷であっても放射性物質は、速やかに体内に進入する¹⁻⁴⁾。したがって、皮膚に傷をつくる可能性のある除染方法を用いることは避けなければならない。また、傷をつくるに至らなくても、刺激、たとえば痛み等の強い方法は、除染に際しての心理的な不安要因となり好ましくない。

放射性物質による皮膚汚染は、汚染後の経過時間が長くなるとともに、皮膚面からの除去が困難になる。したがって、放射性物質による汚染が発生した場合には、できるだけ迅速に処置を開始する必要がある。この観点から、汚染発生現場でただちに実施できる方法がもっとも望ましい。また、除染処置を実施する者は、医学専門職以外の者である場合が多い。したがって、複雑な操作を必要とせず、一般の作業者でも容易に実施できる方法であることも重要である。

除染方法は除染効果の高いことが望ましいのは当然であるが、放射性物質による汚染は、それが発生した直後に発見されるとは限らないので、汚染後、長時間経過した後でも高い除染効果が得られる方法でなくてはならない。

皮膚汚染の除染法は、現在すでに慣用されている方法^{5,6)}があり、実務に用いられている。しかし、これらの除染法が上記三つの条件を必ずしも満足しているとはいえない。そこで、本研究では、放射性物質による皮膚汚染に対する上記の三つの条件を満足する実用的な除染方法を検索するために、現在すでに実用化されている除染方法も含めた各種の除染方法について、その除染効果、除染開始時間と除染効果との関係等を実験的に検討した。

II 研究 方 法

1. 実験 材 料

人体の皮膚を模擬する実験材料としてはブタの皮膚を用いた。ブタの皮膚は、実験動物のなかで、ヒトの皮膚と組織学的にきわめて類似した構造をもつことで知られている⁷⁾。三井製薬㈱から供給された、食用ブタの背中部分の皮下の脂肪組織を含む深さで切除した皮膚 (10×20 cm²) を用いた。

2. 放射性物質

⁵⁸Co (⁵⁸CoCl₂ : 7.4×10⁶ Bq/ml; キャリヤフリー), ⁵⁴Mn (⁵⁴MnCl₂ : 7.4×10⁶ Bq/ml; キャリヤフリー) および放射性クラッド (2.3×10⁴ Bq/ml) を用いた。BWR

第1表 各種の除染方法

①	0.5% ハイアミン溶液による洗浄
②	ブラシによる洗浄
③	ブラシと弱酸性洗剤による洗浄
④	角質剝離剤の塗布
⑤	クレンジング・クリームの塗布
⑥	過マンガン酸カリウムおよびチオ硫酸ナトリウムによる洗浄
⑦	酸化チタンペーストの塗布

型の原子力発電所の一次冷却水を採取し、濃縮したものを、放射性クラッドとして用いた。汚染液は、すべて pH 7.0 に調整したものを用いた。それぞれの放射性物質を 10 μl ずつブタの皮膚面の直径 1cm の円形内に滴下して汚染させた。

3. 除 染 処 置

本実験に用いた除染剤あるいは除染方法を第1表に示す。表に示す①から⑥の方法は、日常的に使われている方法であり、安全性が高く、しかも容易に実施できるという条件を満足している方法である。

0.5% のハイアミン溶液 (塩化ベンゼトニウム液: 逆性石鹼) は、消毒剤として汎用されているもので、放射性物質による創傷面の除染剤として有用であることが、著者らの実験ですでに認められている⁴⁾。

ブラシは洗顔用として利用されているナイロン性の柔らかいものを用いた。

弱酸性洗剤としては、弱酸性液体シャンプーを用いた。弱酸性洗剤は、一般に用いられている洗剤に比べると皮膚に対する刺激が少ないので⁸⁾、皮膚科領域で、皮膚疾患患者に対する洗剤として汎用されているものである。

角質剝離剤およびクレンジング・クリームはそれぞれ医薬部外品すなわち化粧品として市販されているものである。

過マンガン酸カリウムおよび酸化チタンペースト (酸化チタン粉末を 0.1 N の HCl 溶液でペースト状にしたもの) による方法は、放射性物質による皮膚汚染の際の除染方法として、従来から提案されている方法である^{5,6)}。

除染処置は、おのおのの除染方法の1回を2分間とした。同一方法を1回または連続して行った。さらに、第1表に示した除染方法のうちの複数の方法を組み合わせ、汚染後の経過時間が長い場合でも、高い除染効果が得られる処置法を検索した。

第2表 各種の除染処置後の放射能残留率 (%)

汚染核種	除染開始時間	除 染 処 置	放射能残留率 (%)
⁵⁸ Co	15分	[ハイアミン: 4]	2.8± 2.3
		[" : 10]	2.6± 1.1
		[ハイアミン: 4] [弱酸性: 4] [クリーム: 4] [水洗: 2]	2.3± 1.3
⁵⁴ Mn	15分	[ハイアミン: 4]	4.4± 5.2
		[" : 10]	2.6± 2.5
		[ハイアミン: 4]	68.6±11.4
⁵³ Co	60分	[" : 14]	62.9± 8.1
		[ハイアミン: 4] [ブラシ: 4]	59.8±17.9
		[ハイアミン: 4] [ブラシ: 14]	66.9± 4.9
		[" : 4] [弱酸性: 4]	48.0± 8.7
		[" : 4] [弱酸性: 14]	41.9± 8.4
		[" : 4] [クリーム: 2] [水洗: 2]	32.4±10.4
		[" : 4] [角質剝離剤: 2] [水洗: 2]	28.8±11.3
		[" : 4] [弱酸性: 4] [角質剝離剤: 2] [水洗: 2]	26.2± 4.6
		[" : 4] [弱酸性: 4] [クリーム: 2] [水洗: 2]	28.6± 7.7
		[" : 4] [弱酸性: 4] [クリーム: 2] [ブラシ: 2]	23.4± 3.4
		[" : 4] [弱酸性: 4] [角質剝離剤: 2] [ブラシ: 2]	33.3± 9.7
		[" : 4] [弱酸性: 4] [クリーム: 2] [弱酸性: 2]	23.8± 9.3
		[" : 4] [酸化チタン] [ブラシ: 4]	24.8± 6.1
		[" : 4] [過マンガン酸]	58.7± 4.2
⁵⁴ Mn	60分	[ハイアミン: 4] [弱酸性: 4] [クリーム: 2] [ブラシ: 2]	1.78±0.48
CRUD	60分	[ハイアミン: 4] [弱酸性: 4] [クリーム: 2] [ブラシ: 2]	11.4± 4.0

[] 内の数値は処置の継続時間(分)を示す。

除染処置方法 ハイアミン:0.5% ハイアミン溶液による洗浄, ブラシ:ブラシを用いた洗浄, 弱酸性:弱酸性洗剤とブラシを用いた洗浄, 水洗:流水による洗浄, 角質剝離剤:角質剝離剤の塗布, クリーム:クレンジング・クリームの塗布, 過マンガン酸:過マンガン酸カリウムおよびチオ硫酸ナトリウムの滴下, 酸化チタン:酸化チタンペーストの塗布

それぞれの除染処置は, 汚染15あるいは60分後に開始した。

4. 除染効果の判定

除染処置前および処置後のブタ皮膚面の放射能を, 2inch^φNal(Tl) 検出器を備えたアニマルカウンタ(⁵⁸Co および ⁵⁴Mn の測定) またはゲルマニウム半導体検出器(放射性クラッドの測定)で計測した。

除染効果を判定する指標として次次に示す皮膚面の放射能残留率をそれぞれの除染方法ごとに求め比較した。

放射能残留率=(皮膚残留放射能/汚染放射能)×100

III 研究結果

各種の除染処置後の放射能残留率を第2表に示す。さらに, ⁵⁸Co による皮膚汚染について, 汚染後60分経過

してから除染処置を開始した場合の除染効果の一部を第1図に示す。各除染処置は, 同一条件で7回から10回実施し, 放射能残留率の平均および標準偏差を求めた。

(1) 汚染発生後15分以内の除染方法

汚染後15分で除染処置を開始した場合には, 0.5%のハイアミン溶液で4分間洗浄するだけで汚染放射能の95%以上を除去することができる。この場合, 0.5%ハイアミン溶液による洗浄を10分間行っても, 除染効果は4分間洗浄の場合との間に有意な差はない。したがって, 4分間洗浄で十分であることがわかる。

(2) 汚染発生後60分経過した場合の除染方法

汚染後60分経過してから除染処置を開始した場合に, 15分後に開始した場合に比べて放射性物質の皮膚面からの除去がきわめて困難であることが明らかである。

Hy : 0.5% ハイアミン溶液による4分間の洗浄

矢印の長さは汚染させた放射性物質の除去割合を示す。

第1図 各種除染処置後の放射能残留率 (汚染各種： ^{58}Co , 除染開始時間：60分)

0.5% のハイアミン溶液による4分間あるいは10分間の除染処置のみでは、汚染放射能の30あるいは40%しか除去できず、皮膚面の放射能残留率が60~70%である。

汚染60分後に行った除染処置のなかで、除染効果をもっとも高い方法は、

- ① 0.5% のハイアミン溶液で4分間洗浄
- ② 弱酸性洗剤とブラシによる4分間の洗浄
- ③ クレンジング・クリームを汚染面につけ軽く擦する
- ④ ブラシと流水で2分間洗浄

の操作を①から④の順序で組み合わせて行う方法であった。この場合、②の弱酸性洗剤とブラシによる洗浄を4分以上行っても除染効果は変わらなかった。この処置により、汚染面の放射能残留率は23.4%となった。

今回の実験で用いた除染方法では放射能残留率をこれ以上減らすことは不可能であった。

弱酸性洗剤、クレンジング・クリーム等を組み合わせて用いるこの除染方法は、皮膚に傷をつける可能性はなく、また皮膚に対する刺激もほとんどない。しかも手法としてもきわめて簡単であることから、実務上有用な方法である。

酸化チタンペーストによる従来からの手法も上記の方法とほぼ同様の除染効果が得られたが、最後に酸化チタンペーストを洗い流す操作が、かなり面倒である。

過マンガン酸カリウムおよびチオ硫酸ナトリウム溶液による除染方法は、皮膚面の放射能残留率が68%であり、除染効果が高くない上に、皮膚に対する刺激が強く、実用的な除染方法でないことがわかった。

マンガン-54 および放射性クラッドで皮膚面を汚染さ

せ60分経過後に、コバルトによる汚染に対して除染効果のもっとも大きかった除染方法、すなわち、0.5% ハイアミン溶液、弱酸性洗剤、クレンジング・クリームおよびブラシを組み合わせて用いる方法を実施した結果、皮膚面の放射能残留率は、それぞれ1.8%および11.4%であり、コバルトによる汚染の場合よりもさらに高い除染効果が得られた。

マンガン、および、放射性クラッドによる汚染に比べ、コバルト汚染が除染しにくい原因としては、コバルトが皮膚面で放射性コロイド化合物⁹⁾になり、それが毛嚢に固着してしまうのではないかと考えられる。

IV 考 察

放射性物質による汚染が発生した場合には、汚染発生後できるだけ早い時期に除染を開始する必要がある。本研究の結果では、汚染15分後に除染を開始した場合には、0.5% のハイアミン溶液で4分間洗浄するだけで皮膚面の放射性物質の大部分は除去されることが明らかである。汚染後15分以内では、汚染面が湿潤状態にあり、このため放射性物質の除染が容易であったものと考えられる。これに対して汚染60分後には汚染面が乾燥状態にあり、放射性物質が毛嚢の部分に固着しているために、除染がむずかしいのではないかと考えられる。したがって、クレンジング・クリームのように毛嚢の奥まで進入し汚染を除去する作用のあるものが除染効果が大きくなる。クレンジング・クリームによるヒトでの除染の場合には、毛嚢開口部が除染操作による皮膚温の上昇のため開きクレンジング・クリームが毛嚢の奥深くまで入ることが期待されるので、本実験で得られたブタ皮膚面の除染効果よりもさらに高い除染効果が得られるものと

考えられる。汚染および除染のメカニズムを解明するためには、汚染面における放射性物質の経時的な挙動について、オートラジオグラフィーなどの手法を用いて、詳細に検討する必要があるが、これは本報告の目的ではないのでここでは検討しなかった。

過マンガン酸カリウム等による除染方法は、高度の皮膚汚染の際の除染方法として多くの成書に記載されているものである。しかし、この方法は、皮膚面上で化学反応を起こさせるわけであるから皮膚に化学的創傷をつくる可能性がある。さらに皮膚を暗褐色に着色させるので心理的な面からも好ましくない。したがって、ヒトの皮膚汚染の際の除染方法としては適切な処方ではないのでただちにやめるべきである。

V 結 語

放射性物質による皮膚の汚染に対する除染方法について実験的に検討した結果、次の結論が得られた。

(1) 放射性物質による皮膚汚染は、発見後ただちに除染処置を実施すること。

(2) 汚染 15 分以内ならば、0.5% のハイアミン溶液で 4 分間洗浄するだけで、汚染放射能の大部分は除去できる。0.5% のハイアミン溶液がない場合には、流水による除染でもかまわない。

(3) 汚染後の経過時間の長い場合の除染法としては、次の除染方法が効果的である。

- ① 0.5% のハイアミン溶液による 4 分間の洗浄
- ② 弱酸性洗剤とブラシを用いた 4 分間の洗浄
- ③ クレンジング・クリームによるマッサージ
- ④ 流水とブラシを用いた 2 分間の洗浄

この除染方法は、実施が容易であり、またこれに要す

る時間も 12、3 分であり、現場で行う除染法として一般の作業者の協力を得やすい方法である。

参 考 文 献

- 1) 草間朋子, 大柿一史, 吉澤康雄; 放射性物質による創傷汚染, 保健物理, **17**, 23 (1982).
- 2) T. KUSAMA, S. ITOH and Y. YOSHIKAWA; Absorption of radionuclides through wounded skin, *Health Phys.*, **51**, 138 (1986).
- 3) L.A. ILYIN, A.T. IVANNIKOV and Y.D. PARFENOV; Strontium absorption through damaged and undamaged human skin, *Health Phys.*, **29**, 75 (1975).
- 4) 草間朋子, 大柿一史, 吉澤康雄; 創傷の放射能汚染に対する応急的な除染方法に関する実験的研究, 保健物理, **17**, 151 (1982).
- 5) 吉澤康雄; “除染方法の選択に際しての基本的注意事項”, 放射線薬品学, p.319 (1985), 南山堂, 東京.
- 6) アイソトープ手帳 (1985), 日本アイソトープ協会, 東京.
- 7) J.W. HOPEWELL; Effects of radiation on the skin, *Radiat. Prot. Bull.*, **62**, 16 (1985).
- 8) National Council on Radiation Protection and Measurement; Management of Persons Accidentally Contaminated with Radionuclides; NCRP Report, No. 65, Washington (1979).
- 9) 和達嘉樹, 田代晋吾, 井上義教, 村松三男; 皮膚の放射性アイソトープによる汚染, 日本原子力学会誌, **7**, 492 (1965).