皮膚汚染による放射性物質の 経皮吸収に関する研究

竹内 淑子 *

(1968年7月6日受理)

A Study on Percutaneous Absorption of Radioisotopes

By Yoshiko TAKEUCHI*

This study was carried out to investigate the percutaneous absorption of radioisotopes and the first aid procedure for skin contamination accidents.

In the experiments of the percutaneous absorption, a small amount of carrier free ^{32}P (pH 1) or ^{90}Y (pH < 1, = 10) was pipetted on the normal and the injured skin of rats, and the absorption of these radionuclides was measured for about one hour using the outer counting method. Autoradiographs of the skin contaminated with ^{32}P or radiocolloidal ^{198}Au were made. Percentage of the absorption of ^{32}P through the normal skin was 6.5% of the applied amount. With injury on the skin, the amounts absorbed ranged from 20 to 90%, depending on depth and bleeding state of the wound, but coagulated blood which covered the wound was found to be a good barrier against the absorption of the radioisotope just like as the normal skin. The absorption of ^{90}Y was affected with the pH and radiocolloidal ^{90}Y was difficult to be absorbed through the normal and the injured skin.

To investigate the blocking means against the percutaneous absorption, the effects of washing and of administration of tannic acid and epirenamine-hydrochlor were examined. Epirenamine-hydrochlor was found to have, although for short time, strong blocking effect against the absorption into the body. From this result, the use of peripheral-angiotonics has been proposed as a first aid procedure for the skin contamination accident.

1. 緒 言

原子力産業の発展、放射性物質の利用の増大にともない、放射性物質による人体汚染の危険性も増し、放射線管理上、重要な問題となっている。非密封放射性物質取扱作業現場で発生する人体汚染のなかで、その規模の大小を問わず、もっとも頻度の高いものは、皮膚汚染事故である。しかし、皮膚汚染は他の汚染に比べ、汚染の検出や除染処置が比較的容易であるため、正しい知識にもとづいて適切な処置を行うことにより、管理の目的を達することができると思われる。

以上の観点にたつて、本研究においては、皮膚汚染の問題をとりあげ、放射性物質の経皮吸収および吸収阻止法に関する基礎的実験と文献上の考察を行い、皮膚汚染事故時の救急処置に関して若干の検討を加えた。

2. 実験方法

2.1 実験材料

実験動物：ウィスター系ラット（雌，150～200g）の背部中央の皮膚を、in vivoまたはin vitroの状態で使用した。皮膚性状と経皮吸収状態との関係を検討するため、皮膚を正常皮膚（汚染面積20mm²）、および、創傷皮膚（長さ5mmの切傷）に大別した。

放射性物質：イオン形核種として ^{32}P 、ラジocolloid形成核種として ^{90}Y を使用した。オートラジオグラフ作成にあたっては、 ^{90}Y のかわりに、コロイド性状のより安定な ^{198}Au を用いた。各々の使用条件は、Table 1

* 東京大学医学部放射線健康管理学教室

(Tokyo Univ. Faculty of Medicine, Dept. of Radiological Health)

に示す通りである。

Table 1 Radioisotopes used in Experiment.

	^{32}P	^{90}Y	^{198}Au
Chemical form	H_3PO_4	YCl_3	Colloidal Au
pH	< 1	< 1, = 10	= 10
Concentration	0.1~0.25 mCi/ml	0.1~0.25 mCi/ml	0.5~1 mCi/ml
Carrier	{Carrier free ^{31}P 35mg/ml}	Carrier free	Carrier free

2.2 実験方法

2.2.1 放射性物質の経皮吸収状態の測定

体外連続測定法：実験装置概略をFig. 1 に示す。ネ

ンプター麻酔したラットを腹位に固定し、背部中央の毛をかりとり、アルコール綿でふいたのち、 ^{32}P または ^{90}Y 溶液 0.02 ml をマイクロビペットで滴下した。鉛コ

Fig. 1 Arrangement of Experimental Apparatus.

リメータ付のGM計数装置を用いて、後肢の放射能を1分間づつ、1分間隔で、約1時間にわたり測定した。

経皮吸収量の測定：経皮吸収量は、滴下量と滴下1時間後の皮膚残存量の差として算出した。

オートラジオグラフィ： ^{32}P または ^{198}Au を滴下した皮膚を一定時間後に切除し、ただちに凍結切片法により厚さ30~40 μ の組織切片を作り、インバート法によりオートラジオグラフを作成した。感光材料にはストリップ用オートラジオグラフ乾板（富士ET-2E）

を用い、2~4日間露出し、ヘマトキシリン・エオジン染色を行った。

2.2.2 経皮吸収阻止効果の測定

洗浄効果の測定： ^{32}P で汚染された切除皮膚片を用い、流水、中性洗剤の洗浄効果を測定した。洗浄前後の放射能測定にはGM計数装置を用い、次式により除染率を求めた。

$$\text{除染率}(\%) = \left(1 - \frac{\text{洗浄後の計数率}}{\text{洗浄前の計数率}} \right) \times 100$$

なお、切除皮膚片の乾燥による除染率への影響は認められなかった。

経皮吸収阻止剤投与効果の測定：皮膚収斂剤であるタンニン酸、および、末梢血管収縮剤である塩酸エピレナミンの投与効果を観察した。創傷皮膚上に5%タンニン酸溶液0.2mlを一様に塗布し、30分後に ^{32}P 溶液0.02mlを滴下して、その吸収状態を測定した。つぎに、0.01%塩酸エピレナミン溶液0.02mlを、 ^{32}P 投与の10分前、直後、10分後、20分後に創傷皮膚上に滴下して、投与時間の影響を検討した。

3. 実験結果

3.1 放射性物質の経皮吸収状態

体外連続測定の結果は、Fig. 2に示すような経皮吸収曲線として表わすことができる。この曲線より、計数値が増加しはじめる時間 T_0 (min)、計数値の増加速度 dR/dt (cpm/min)、計数値が一定値 R_e (cpm)に達するまでの時間 T_e (min)を求め、また、別方法で求めた経皮吸収量 A (%)とをあわせて、比較検討を行った。

Fig. 2 Absorption Curve obtained by Outer Counting Method.

3.1.1 皮膚性状と経皮吸収状態との関係

正常皮膚からの吸収状態： ^{32}P が正常皮膚を透過して末血液中に出現するまでに約10分要し、経皮吸収量は投与量の6.5%に達している。(Table 2) 1時間以

Table 2 Absorption of ^{32}P through Normal Skin.

Number of rats	T_0 (min)	dR/dt (cpm/dt)	T_e (min)	A (%)
8	11 ± 3	32 ± 0.9	32 ± 5	6.5 ± 2.5

(Mean $\pm$ S.D.)

上測定を続けると計数値減少の傾向が認められるが、これは血液中の ^{32}P が体内臓器へ移行、沈着したためであると考えられる。

つぎに、エーテルによる皮膚洗浄群と非洗浄群における ^{32}P の吸収状態の差を検討した結果、両者間に有意差は認められず、皮脂層は経皮吸収に対して、あまり重要な役割を果していないことが明らかとなった。

正常皮膚のオートラジオグラフ顕微鏡写真(Fig. 3)によれば、 ^{32}P は皮膚表面とくに毛の周囲に付着しており、毛孔、皮脂腺内への侵入像は認められない。

創傷皮膚からの吸収状態：創傷の深さおよび出血状態が、 ^{32}P の吸収状態におよぼす影響について検討した。まず、切傷をその深さにしたが、表皮切傷、真皮切傷、皮下組織切傷の3群に区別した。組織標本の顕微鏡的観察により深さの正確さを期し、また、出血状態は、肉眼的に認め

られないもの、または、微量のものとした。

Table 3に示すように、傷が深くなるにしたがい、吸収に要す時間は小となり、これに反し、吸収速度、吸収量は大となる。前述した正常皮膚の場合と比較すると正常皮膚では吸収に約10分要すのに対し、創傷皮膚では5分以内であり、また創傷皮膚における吸収量は、正常皮膚の数倍～十数倍に達している。

出血状態の影響を検討するため、真皮切傷の出血状態を定性的に下記4群に区別した。

- 肉眼的にほとんど出血の認められない状態
- 出血が高度で、 ^{32}P 滴下後も出血が持続している状態
- 出血が止り、傷口を被った血液が一部凝固しはじめた状態

Fig. 3 Autoradiograph of Normal Skin Contaminated with ^{32}P (after 15 min)

(d) 完全に凝血した状態

Fig. 4の結果より, (i)高度の出血時には, ^{32}P が血液で希釈されるため吸収速度は小さくなるが, 血管損傷が大きいため吸収量は大きくなること, (ii)凝血しはじめると吸収阻止の傾向が現われ, 完全に凝血した場合には正常皮膚と同程度しか吸収されないこと, が明らかとなった。

創傷皮膚における ^{32}P の付着状態を Fig. 5 に示す。(a)(b)より, 創傷底部に付着した ^{32}P が吸収される状態を知ることができる。

3. 1. 2 放射性物質と経皮吸収状態との関係

放射性物質の種類, 性状による吸収状態の相違を検討するため, ^{32}P ($\text{pH} < 1$), ^{90}Y ($\text{pH} < 1$, $= 10$) につき, 正常, 創傷皮膚からの吸収状態を測定した。

Table. 4に示す結果, および, ^{90}Y の物理化学的性質¹⁾²⁾³⁾より, つぎの事実を知ることができる。

- (i) ^{90}Y の吸収状態は, pH の変化によるラジオコロイド形成状態と関係する。
- (ii) ラジオコロイド状の ^{90}Y は, 正常皮膚のみならず, 創傷皮膚からも吸収されにくい。
- (iii) イオン状 ^{90}Y は, 血液や組織液の生理的 pH のもとで一部がラジオコロイド状に変化するため, ^{32}P と吸収状態を異にする。

Table 3 Absorption of ^{32}P through Injured Skin
— Effect of Depth of Wound.

Depth of Wound	Number of rats	To (min)	$\frac{dR}{dt}(\text{cpm}/\text{min})$	To (min)	A (%)
Epidermal Wound	5	4 ± 1	14.0 ± 5.7	26 ± 1	27.0 ± 8.2
Dermal Wound	5	4 ± 2	15.5 ± 3.0	43 ± 5	42.3 ± 1.0
Subcutaneous Wound	5	2 ± 1	31.0 ± 5.5	52 ± 8	86.1 ± 3.5

Fig. 4 Absorption Curves of ^{32}P through injured Skin (Dermal Wound)
—— Effect of Bleeding States

無担体の ^{32}P は、担体の存在する場合と行動を異にすることがしばしば認められている³⁾⁴⁾ため、担体の影響について検討した。 ^{32}P 溶液 0.02 mℓ 中非放射性リン 0.7 mg を加え、正常、創傷皮膚からの吸収状態を測定したが、担体存在の影響は認められなかった。

^{198}Au の正常、創傷皮膚付着状態を Fig. 6 に示す。正常皮膚では、表面に微粒子状の黒化像が認められるが、 ^{32}P と異り毛には付着していない。創傷皮膚上の黒化像は、 ^{198}Au が血液などの影響により凝集したものと考えられる。

3.2 経皮吸収阻止効果

3.2.1 洗浄効果

^{32}P の皮膚汚染に対する洗浄効果の測定結果 (Fig. 7.8) より、つぎの点を指摘することができる。

(i) 汚染後洗浄を行うまでの経過時間が重要な因子とな

(a) After 15 min

(b) After 1 hr

(c) Contamination of coagulated blood, after 1 hr

Fig. 5 Autoradiographs of Injured Skin Contaminated with ^{32}P .

Table 4 Absorption of ^{32}P and ^{90}Y through Normal and Injured Skin.

Skin	Nuclide	pH	Number of rats	To (min)	$\text{dR}/\text{dt}(\text{cpm}/\text{min})$	Te (min)	A (%)
Normal skin	^{32}P	< 1	8	11 ± 3	3.2 ± 0.9	32 ± 5	6.5 ± 2.5
	^{90}Y	< 1	8	17 ± 4	1.0 ± 0.3	39 ± 2	1.9 ± 1.3
		10	5	—	—	—	0.2 ± 0.2
Injured skin (Dermal wound)	^{32}P	< 1	5	4 ± 2	15.5 ± 3.0	43 ± 5	42.3 ± 1.0
	^{90}Y	< 1	5	2 ± 2	$\begin{cases} 2.0 \pm 0.7 \\ 8.5 \pm 2.0 \end{cases}$	58 ± 10	2.08 ± 1.9
		10	5	19 ± 2	1.2 ± 0.3	40 ± 5	3.5 ± 0.5

(a) Normal skin, after 1 hr.

(b) Injured skin, after 1 hr.

Fig. 6 Autoradiographs of Normal and Injured Skin Contaminated with ^{198}Au .

Fig. 7 Relation between Decontaminability and Number of Decontamination Steps.

Fig. 8 Relation between Decontaminability and Time after Contamination.

っており、とくに創傷皮膚汚染では5分以上経過すると除染率は著減する。

- (ii) 汚染後長時間経過した場合には洗浄反復効果が認められるが、5回以上は効果少ない。
- (iii) 正常皮膚汚染の場合には、中性洗剤やブラシの使用は有効であるが、創傷皮膚汚染では効果は認められない。
- (iv) 創傷皮膚汚染では、正常皮膚の場合に比し除染効果

は小さく、また経皮吸収量は大きいため、早急に他の吸収阻止の手段を講ずる必要がある。

3.2.2 タンニン酸の効果

タンニン酸の吸収阻止効果 (Table 5) は顕著ではなく、つぎに述べる事項と考えあわせると、実用上の意義はないものと判断できる。

- (i) 皮膚汚染事故以前にこの種の薬剤を投与することは

Table 5 Effect of Tannic Acid to Absorption of ^{32}P through Injured Skin (Dermal Wound).

	Number of rats	To (min)	$\frac{dR}{dt} (\text{cpm}/\text{min})$	To (min)	A (%)
Tannic acid administered group	5	4 ± 3	15.4 ± 4.5	31 ± 4	33.8 ± 4.5
Non-administered group	5	4 ± 2	15.5 ± 3.0	43 ± 5	42.3 ± 1.0

ほとんどありえず、また、事故後に使用しても大きな効果は期待できない。

- (ii) 正常皮膚に対しては無作用であり、吸収阻止効果はなく、また、創傷皮膚に使用した場合、創傷治癒を遅延させることがある⁵⁾。

3.2.3 塩酸エピレナミンの効果

塩酸エピレナミン投与時の ^{32}P の創傷皮膚吸収状態を、Fig. 9に模式的に図示する。塩酸エピレナミン局所投

Fig. 9 Absorption Curves of ^{32}P under administration of Epirenamine-hydrochlor (Model).

与後5~10分で吸収阻止効果が現れ、吸収速度は非投与群の約1/5に抑制され、この効果は約40分間継続する。しかし、効果消失後は反応性充血のため吸収促進の傾向が認められる。

4. 考 察

4.1. 経皮吸収モデル

経皮吸収と云う用語は、物質が外界から皮膚内に侵入、透過し、末梢血管に吸収されるまでの全過程を意味している⁶⁾⁷⁾。

物理化学的作用による物質の皮膚透過現象は、一般にはFickの法則⁸⁾にしたがい、皮膚をへだてた両側の濃度差に比例する⁹⁾¹⁰⁾。皮膚透過曲線は次式で示すことができる。

$$C(t) = C_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad C(t): \text{時間 } t \text{ における下側の濃度}$$

$$C_0: \text{上側の濃度}$$

$$\lambda: \text{透過定数}$$

本実験で求められた経皮吸収曲線は、原則的には上式にあてはまるが、実験条件にもとずく諸因子を考慮して、つぎに示す補正を行わなければならない。

- (i) 滴下溶液の濃度変化に対する補正

溶媒の蒸発により濃度が指数函数的に増加すると仮定すると、①式が得られる。

$$C_1(t) = a + (A - a)(1 - e^{-\lambda_1 t}) \quad \text{--- ①}$$

$C_1(t)$: 時間 t における滴下溶液の濃度

a : 初期濃度

A : 飽和濃度

λ_1 : 濃度の増加定数

(ii) 時間おくれに対する補正

滴下された放射性物質が皮膚を透過し、真皮毛細血管に吸収され、末梢血液中に達するまでの時間おくれを考慮する必要がある。この補正項を $(1 - e^{-\lambda_2 t})$ で示し、

①式に掛けると②式が得られる。

$$C_1'(t) = [a + (A - a)(1 - e^{-\lambda_1 t})](1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad \text{--- ②}$$

λ_2 : 時間おくれに関する定数

上述した2つの補正項を加えて、経皮吸収曲線の式を導き出す。

$$\frac{dC_2(t)}{dt} = \lambda [C_0 - C_2(t)] \quad \text{--- ③}$$

$C_2(t)$: 時間 t における下側の濃度

$$C_0 = \frac{C_1'(t)}{\lambda} \quad \text{--- ④}$$

③式に④式を代入すると、

$$\frac{dC_2(t)}{dt} + \lambda C_2(t) = [a + (A - a)(1 - e^{-\lambda_1 t})] \times (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad \text{--- ⑤}$$

⑤式を積分すると、⑥式が得られる。

$$\begin{aligned} C_2(t) = & \underbrace{\frac{a}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})}_{\text{I}} - \underbrace{\frac{a}{\lambda - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda t})}_{\text{II}} \\ & + \underbrace{\frac{A - a}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})}_{\text{III}} - \underbrace{\frac{A - a}{\lambda - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda t})}_{\text{IV}} \\ & - \underbrace{\frac{A - a}{\lambda - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda t})}_{\text{V}} \\ & - \underbrace{\frac{A - a}{\lambda - (\lambda_1 + \lambda_2)} [e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t} - e^{-\lambda t}]}_{\text{VI}} \quad \text{--- ⑥} \end{aligned}$$

⑥式をモデル的にあらわすために、 $\lambda_1 > \lambda$, $\lambda_2 > \lambda$, $A - a > a$ なる仮定を設けると、Fig. 10 に示す合成曲線が得られる。

本実験のように、滴下溶液が蒸発しある時点で溶質が析出すると、それ以後は透過されず、ある時間おくれのうちに一定値に達する (Fig. 10 の実線)。これは本実験で得られた経皮吸収線の基本的モデルと考えることができる。以上述べた補正以外にも、放射性物質の物理的減衰や体内臓器への移行沈着などに対する補正も、必要に応じて行わなければならない。

Fig. 10 Model of Percutaneous Absorption Curve.

4.2 皮膚と経皮吸収との関係

正常皮膚は経皮吸収に対してかなり強力な障壁となっており、その吸収阻止能については多くの研究がある。10)11)12)13)14)15) 種々の外的、内的要因により皮膚に異常が生ずると、経皮吸収状態が変化する。外的要因のなかでもっとも一般的なものは機械的刺激であるが、これ以外にも紫外線¹⁶⁾、X線¹⁷⁾、電流¹⁸⁾などの物理的刺激や、化学的刺激¹⁹⁾の影響も認められている。また、損傷の種類や程度、治癒の状態により、経皮吸収状態が異なることは、本実験結果や他の研究報告²⁰⁾²¹⁾²²⁾より知ることができる。

皮脂層の影響に関する報告²³⁾を検討すると、皮脂層は経皮吸収に対して重要な役割は果たしていないと考えられる。

身体部位による吸収状態の相違については、手掌や足趾のように角質層が厚く、毛孔の存在しない皮膚では吸収量は少ないが、他の部位では大差は認められていない。¹³⁾²⁴⁾²⁵⁾ また、年齢、人種などによる吸収状態の相違も確認されていない。¹³⁾

動物実験の結果をヒトに適用する場合、両者の皮膚構造上の相違を考慮する必要がある。おもな相違は、つぎの2点である。¹⁰⁾

- (i) 実験動物には汗腺が存在しないこと。
- (ii) 実験動物の毛孔密度は、ヒトよりも大であること。

経汗腺吸収は否定されているため、²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾ (i)の相違点は問題とならない。経毛孔吸収に関しては、現在のところ明確な結論は得られていない²⁷⁾²⁸⁾²⁹⁾がこれを否定

することはできず、したがって、この点にもとづく両者の経皮吸収量の差は無視することはできない。しかし、動物実験結果をヒトに適用する際に生ずる誤差は、放射線管理の観点からは安全側のものである。

4.3 透過物質と経皮吸収との関係

透過物質の種類、性状により経皮吸収状態が異なることは、多くの研究結果や臨床症例により明らかである。¹⁾ 気体状物質の皮膚透過能は、濃度差、蒸気圧、温度、水やリポイドへの溶解性などに関連するが、一般に常温で気体状の物質は、正常皮膚を比較的容易に透過することができる⁶⁾。固体状物質は経皮的には吸収されにくい、微粒子状固体が皮膚表面とくに創傷面に付着した場合、

空気中の水分、血液や組織液などに溶解して吸収される³⁰⁾。液体状物質は経皮吸収の観点からもっとも重要であるが、その透過能は一次的には溶質の種類、性質に依存し、溶媒の種類、媒介物の存在、溶液濃度などの影響は副次的なものである⁶⁾¹¹⁾。溶質の性質としては、大きさ、荷電の状態、運動性、吸着性、水やリポイドへの溶解性などが関連することが知られている⁶⁾¹¹⁾¹⁴⁾¹⁶⁾。つぎに、皮膚汚染として問題となる放射性核種の正常皮膚からの吸収量に関する報告の概要をTable. 6に示す

以上の報告および本実験結果を総合すると、正常皮膚における経皮吸収量(1時間値)は、多いものでは付着量の5%程度、大部分は1%以下であり、とくにラジオコロイド状のものでは顕著に少い。また、付着溶液乾燥

Table 6 Absorbed Dose of Radioisotopes through Normal Skin.

Nuclide	Absorbed dose	References	
³ H	0.3%/cm ² ·hr	T ₂ O + D ₂ O, Man	Kato, J. ³¹⁾
³² P	< 2%/4 hr	H ₃ ³² PO ₄ , Pig	Wadachi, Y. et al ³²⁾
³⁵ S	< 0.1%/hr	H ₂ ³⁵ SO ₄ , Pig	Tashiro, S. et al ³³⁾
⁴⁵ Ca	Negligible dose	⁴⁵ Ca Cl ₂ , Rabbit	Blank, F. ¹⁸⁾
⁵¹ Cr	1~4.5%/5 hr	Na ₂ ⁵¹ CrO ₄ , Guinea Pig	Skog, E. et al ¹⁴⁾
⁵⁸ Co	< 1~3%/5 hr	⁵⁸ CoCl ₂ , Guinea Pig	Skog, E. et al ¹⁴⁾
⁶⁰ Co	Negligible dose	⁶⁰ CoCl ₂ , Pig	Wadachi, Y. et al ³⁴⁾
⁶⁵ Zn	< 1~3%/5 hr	⁶⁵ ZnCl ₂ , Guinea Pig	Skog, E. et al ¹⁴⁾
⁸⁶ Sr	Negligible dose/3hr	⁸⁶ Sr(NO ₃) ₂ , Rat(Tail)	Howard, J.M. et al ²⁰⁾
⁸⁹ Sr	10%/30min	⁸⁹ SrCl ₂ , Rat	Scheel, H. ³⁵⁾
⁸⁹ Sr	3.8%/hr	⁸⁹ SrCl ₂ , Rat	Lehrnbecher, W ³⁶⁾
⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	< 1%/4 hr	Equilibrium, pH=1~12, Pig	Wadachi, Y. et al ³²⁾
^{110m} Ag	< 1~3%/5 hr	^{110m} AgNO ₂ , Guinea Pig	Skog, E. et al ¹⁴⁾
^{115m} Cd	< 1~1.8%/5 hr	^{110m} Cd Cl ₂ , Guinea Pig	Skog, E. et al ¹⁴⁾
¹²⁵ Sb	< 0.1%/hr	¹²⁵ Sb, Cl ₃ , pH=1.5, 12.0, Pig	Tashiro, S. et al ³³⁾

Nuclide	Absorbed dose	References	
^{131}I	0.06~0.12%/2 hr	$^{131}\text{I}_2$, Man	Harrison, J. ¹⁹⁾
^{131}I	0.01%/hr	Na ^{131}I , Man	Van Dilla, M.A. et al ³⁷⁾
^{137}Cs	Negligible dose	$^{137}\text{CsCl}$, Pig	Wadachi, Y. et al ³⁴⁾
^{147}Pm	< 0.1%/hr	$^{147}\text{PmCl}_3$, pH=1.4, 12.0, Pig	Tashiro, S. et al ³³⁾
^{203}Hg	1~4.5%/5 hr	$^{203}\text{HgCl}_2$, $\text{H}_2^{203}\text{HgI}_4$, CH_3 - ^{203}Hg -DCD Guinea pig	Skog, E. et al ¹⁴⁾
^{203}Hg	Negligible dose	$^{203}\text{HgCl}_2$, Rat	Wernsdorfer, R. ³⁸⁾
^{204}Tl	< 0.1%/hr	$^{204}\text{Tl}_2\text{SO}_4$, Pig	Tashiro, S. et al ³³⁾
^{210}Po	< 0.1%/hr	Nitrate, pH=1.4, 12.0, Pig	Tashiro, S. et al ³³⁾
^{239}Pu	0.0002%/hr	10 μg ^{239}Pu in 0.4N HNO_3 , Man (hand)	Langham, W.H. ³⁹⁾
^{239}Pu	0.00002%	2.35mCi ^{239}Pu /ml of CCl_4 , or in TBP, Man (hand)	Lister, B.A.J. ⁴⁰⁾
^{239}Pu	< 0.04%/15min	in TBP, Rat	Lister, B.A.J. ⁴⁰⁾
^{239}Pu	< 0.5%/hr	in 10N HNO_3 , Rat	Lister, B.A.J. ⁴⁰⁾
^{239}Pu	0.3%/5 day	in 0.1N HNO_3 , Rat	Weeks, M.H. et al ⁴¹⁾
^{239}Pu	2%/5 day	in 10N HNO_3 , Rat	Weeks, M.H. et al ⁴¹⁾
^{239}Pu	0.05%/hr	in HCl , pH=1, Pig	Tashiro, S. et al ⁴²⁾

後の吸収量は無視しうる程度である。皮膚汚染事故時の汚染時間は個々の事例により異なるが、大抵の場合1時間以内に除染処置がとられるため、その吸収量としては1時間値を目安とすることができる。

4.4 皮膚汚染時の救急処置に関する一提案

皮膚汚染に対する処置法として、除染はもっとも重要であるが、創傷皮膚汚染のように経皮吸収の危険性が大である場合には、除染を行うと同時に、体内侵入阻止の手段を講ずることが必要である。この方法としては、従来、静脈止血が行われているが、本研究では、(i)放射性物質の皮膚内への侵透阻止、(ii)真皮毛細管内への吸収阻止、につき実験を行った。(i)の方法として皮膚収斂剤につき検討したが、実用に足る効果は認められなかった。(ii)に関しては、末梢血管収縮剤が一過性の強力な吸収阻止作用を有していることが明らかとなった。この結果よ

り、創傷皮膚汚染時の救急処置法として、つぎの方法を提案する。

(1)初期洗浄：汚染後ただちに多量の流水で血液をおし出しながらかん洗浄する。

(2)末梢血管収縮剤の使用：洗浄効果が小さくなって来たり、止血した場合には、洗浄を一時中止して、薬剤を局所に滴下する。創傷部が特殊な状態の場合、たとえば、出血をともしなわぬ場合、刺傷のように傷口をよく洗浄できない場合、痂皮や凝固血塊が汚染している場合、ゴミやグリースなどが付着している場合などには、できるだけ早期に薬剤を投与することが望ましい。

(3)除染および外科的処置：末梢血管収縮剤の効果は一過性であるため、効果持続時間内に流水、生理的食塩水、稀酸などによる除染を行い、さらに傷モニターによる測定の結果、外科的処置の必要な場合にはただちに行う。

末梢血管収縮剤の選択にあたっては、(a)持続時間が長

いこと、(b)反応性充血を来たさないこと、の2点を考慮する必要がある⁴³⁾。これらの薬剤は、原則的にはメディカルスタッフの監督下で使用されることが望ましいが、副作用が少いため、あらかじめ使用方法を定め、指導しておくことにより、放射線管理者のもとで用いることができる。

5. 結 語

放射線管理の観点から皮膚汚染の問題をとりあげ、放射性物質の経皮吸収および吸収阻止に関する動物実験を行った。実験結果に対して文献上の考察を加え、これらの知見のうえにたって、皮膚汚染事故時の救急処置法として末梢血管収縮剤の使用を提案した。

稿を終えるにあたり、御指導、御鞭達を賜りました勝沼晴雄教授、吉沢助教授に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 長塚 晃 日本医学放射線学会雑誌 20 1657 (1960)
- 2) SCHUBERT, J. & CONN, E.E. Nuclenoics 4 2 June (1949)
- 3) 日本化学会編 実験化学講座 12:放射化学 丸善 (1956)
- 4) 鈴木英世 Radioisotopes 14 111 (1965)
- 5) 熊谷洋 監修 臨床薬理学大系 14:局所に作用する薬物 中山書店 (1966)
- 6) ROTHMAN, S. "Biochemistry and Physiology of Skin" Chicago U.P. (1962)
- 7) 山本俊平 等編 皮膚科学 総論 医学書院 (1962)
- 8) 中恒正幸編 生体膜と膜透過 化学の領域 増刊 61号 南江堂 (1966)
- 9) TREGGAR, R.T. AHSB(RP)R-39
- 10) TREGGAR, R.T. J. Soc. Cosm. Chem. 8 145 (1962)
- 11) TREHERNE, J.E. J. Physiol. 133 171 (1956)
- 12) MONASH, S. J. Invest. Dermat. 29 367 (1957)
- 13) MARZULLI, F.N. J. Invest. Dermat. 39 387 (1962)
- 14) SKOG, E. & WAHLBERG, J.E. J. Invest. Dermat. 43 187 (1964)
- 15) MARZULLI, F.N. & TREGGAR, R.T. J. Physiol. 157 52p (1961)
- 16) CALVERY, H.O., DRAIZE, J.H. & LAUG, E.P. Physiol. Rev. 26 495 (1946)
- 17) WURDACK, G.T. Nuclear Science Abstract 18 31957 (1964)
- 18) BLANK, F. Nuclear Science Abstract 18 43197 (1964)
- 19) HARRISON, J. Health Physics 9 993 (1963)
- 20) HOWARD, J.M. & SALAK, W.W. AD-412416
- 21) SALAK, W.W. & HOWARD, J.M. Nuclear Science Abstract 18 29232 (1964)
- 22) OAKLEY, W.D. & THOMPSON, R.C. HW-41500
- 23) FRIBERG, L., SKOG, E. & WAHLBERG, J.E. Acta Dermato-Venereol. 41 40 (1961)
- 24) TAS, J. & FEIGER, Y. J. Invest. Dermat. 30 193 (1958)
- 25) SHELLEG, W.B. & MELTON, F.M. Fed. Proc. 6 199 (1947)
- 26) 野北通夫 日本皮膚科学会雑誌 66 147 (1957)
- 27) TREGGAR, R.T. J. Physiol. 156 307 (1961)
- 28) ROTHMAN, S. ACRH-21
- 29) 森山正一郎 日本皮膚科学会雑誌 70 919 (1960)
- 30) ORCUTT, J.A. "Pharmacology and Toxicology of Uranium Compounds" National Nuclear Energy Series VI-1 Ed. VOEGTLIN, C. & HODGE, H.C. McGraw-Hill (1949)
- 31) KATO, J. JAERI-memo 2234
- 32) 和達, 田代, 田島, 檜山 日本原子力学会誌 5 938 (1963)
- 33) 田代, 和達, 村松 日本原子力学会誌 8 642 (1966)
- 34) 和達, 田代, 井上, 村松 日本原子力学会誌 7 492 (1965)
- 35) SCHEEL, H. Kernenergie 4 197 (1964)
- 36) LEHRNBECHER, W. Fortsch. Gebiete Röntg. Nuclearmed. 98 199 (1963)
- 37) VAN DILLA, M.A., RICHMOND, C.R. & FURCHNER, J.E. LAMS-2526
- 38) WERNSDÖRFER, R. Klin. Wshr. 33 626 (1955)
- 39) LANGHAM, W.H. Health Physics 2 172

- (1959)
- 40) LISTER, B.A.J. 講義集 日本保健物理協議会
ニュース No. 10, 11, 12 (1964)
- 41) WEEKS, M.H. & OAKLEY, W.D. HW-30437
- 42) TASHIRO, S., WADACHI, Y. & MURAMATSU,
M. J. Nuclear Science Technol. 5 160 (1968)
- 43) 熊本洋 監修 臨床薬理学大系 7 : 心血管系
中山書店 (1966)