

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

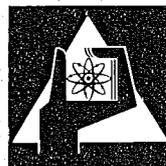
Dezember 1973

KFK 2006

Medizinische Abteilung

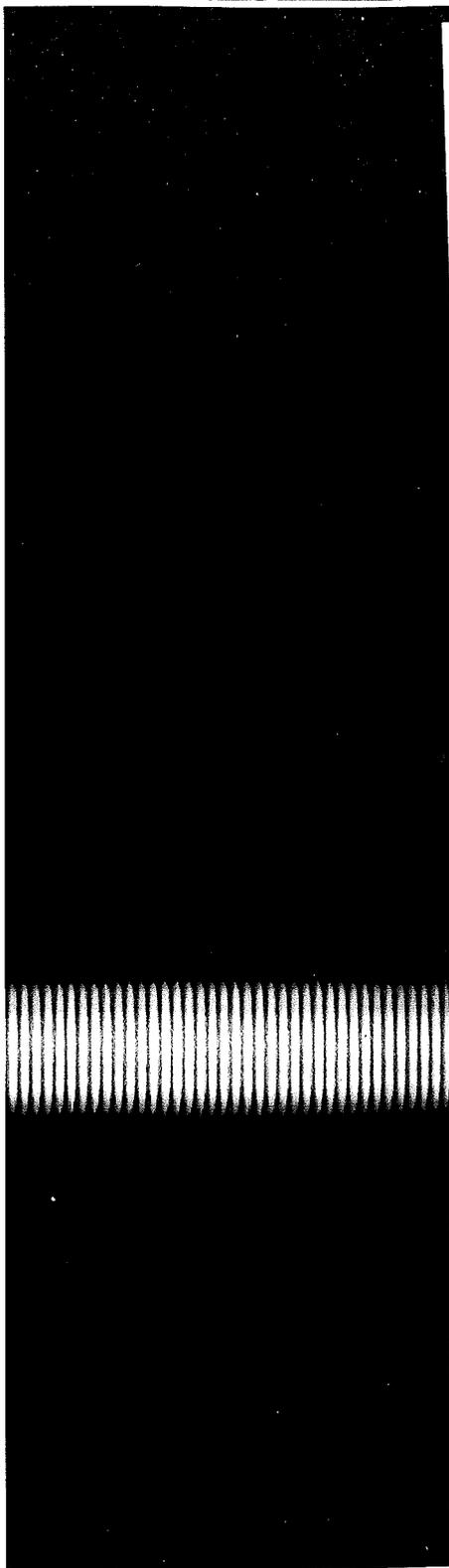
**Bericht über eine mit Plutonium-239
kontaminierte Riß-Schnittverletzung**

L. Ohlenschläger, H. Schieferdecker



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE



Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG
KARLSRUHE

Sonderdruck

Strahlentherapie

Archiv für klinische und
experimentelle Radiologie

Es ist ohne schriftliche Genehmigung des Verlages nicht erlaubt, die Zeitschrift oder Teile daraus nachzudrucken, fotomechanisch (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen oder in Datenverarbeitungsanlagen zu speichern. Werden Vervielfältigungen zum innerbetrieblichen Gebrauch gewerblicher Unternehmen nach § 54 UrhG hergestellt, so ist hierfür die Gebühr nach Maßgabe des Gesamtvertrags zwischen der Inkassostelle für urheberrechtliche Vervielfältigungsgebühren GmbH, D-6 Frankfurt/M., Großer Hirschgraben 17-21, und dem Bundesverband der Deutschen Industrie e.V., D-5 Köln, Habsburgerring 2-12, an die Inkassostelle zu entrichten. Werden Wertmarken der Inkassostelle verwendet, so ist jede vervielfältigte Seite mit einer Marke im Wert von DM 0,40 zu versehen. © Urban & Schwarzenberg, München-Berlin-Wien 1974. Eine Markenbezeichnung kann warenzeichenrechtlich geschützt sein, auch wenn bei ihrer Verwendung in dieser Zeitschrift das Zeichen ® oder ein anderer Hinweis auf etwa bestehende Schutzrechte fehlen sollte.

Urban & Schwarzenberg

Bericht über eine mit Plutonium-239 kontaminierte Riß-Schnittverletzung

L. Ohlenschläger, H. Schieferdecker

Medizinische Abteilung (Leitung: Dr. med. L. Ohlenschläger), Kernforschungszentrum Karlsruhe

Es wird über die diagnostisch-therapeutischen Maßnahmen einer mit Plutonium-239 kontaminierten Riß-Schnittverletzung im Bereich der Streckseite des rechten Handgelenks berichtet. Die an der Wunde gemessene α -Aktivität betrug etwa 200 nCi und konnte durch eine einmalige Wundrandexzision auf 7 nCi gesenkt werden. Eine zusätzliche Dekontamination der Wunde erfolgte durch eine am 5. Tage nach der Wundrandexzision einsetzende Wundsekretion.

Eine intravenöse medikamentöse Zusatztherapie mit $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ (Ditriptentat Heyl®) führte zu einer deutlichen Senkung des anfänglichen Körperdepots.

Anhand von Aktivitätsanalysen in Urin- und Stuhlproben und unter Verwendung der Gleichungen von Langham sowie Beach und Dolphin wird das Problem einer Früh- und endgültigen Abschätzung der Körperbelastung unter $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ -Behandlung diskutiert.

1. Einleitung

Plutonium ist ein α -Strahler der Transuranreihe mit einer α -Energie von 5,15 MeV und einem geringen Anteil einer weichen Röntgenstrahlung von 13–20 keV. Seine physikalische Halbwertszeit beträgt 24400 Jahre, die biologische Halbwertszeit 100 Jahre.

Inkorporiertes Plutonium wird außer in der Leber auch im Skelettsystem deponiert. Infolge seiner Strahlungsenergie und langen biologischen Halbwertszeit wird der Organismus einer kontinuierlichen inneren Strahlenbelastung ausgesetzt, was zu schwerwiegenden gesundheitlichen Folgen führen kann. Die für diese möglichen Schäden in Frage kommenden Plutoniummengen sind außerordentlich gering. Die maximal zulässigen Mengen im Körper wurden von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) für Plutonium auf 40 nCi = 0,6 μg festgelegt [2].

Maximal zulässige Werte für eine Wundkontamination bestehen nicht. Nach Empfehlungen aus dem amerikanischen Schrifttum sollte jedoch eine Wundaktivität wegen der lokalen Strahlenbelastung nicht höher als $1/10$ der maximal zulässigen Körperbelastung sein [6].

Die Schnelligkeit der Aszension des Plutoniums aus dem Wundgebiet in die Blutbahn (Inkorporation) ist unter anderem von der chemischen und physikalischen Beschaffenheit der Plutoniumverbindung abhängig. Eine lösliche Form aszendiert rasch in die Blutbahn, von wo aus eine schnelle Ablagerung in verschiedene Organe stattfindet.

Die unlösliche Form des Radionuklids dagegen verbleibt größtenteils stationär im Wundgebiet. Aber auch in diesem Zustand erfolgt über den Weg der Phagozytose eine langsame Ablagerung der Aktivität vorwiegend in das retikuloendotheliale System und die regionalen Lymphknoten.

In Organe eingelagertes Plutonium (Körperdepot) verbleibt praktisch lebenslang im Körper. Nur ein verschwindend geringer Anteil gelangt über die Nieren und den cholechoenteralen Trakt zur Ausscheidung [4].

Im vorliegenden Falle lag das Radionuklid in Form von Plutoniumnitrat vor. Daher war mit einer schnellen Aszension über eröffnete Lymphspalten und Blutgefäße zu rechnen.

2. Unfallhergang

Bei Arbeiten im Atemvollschutzanzug in

einer Plutoniumzelle stieß der 38jährige Laborwerker mit dem rechten Handgelenk an einer unübersichtlichen Stelle an und beschädigte dabei den Ärmel des Atemschutzanzuges. Eine Verletzung blieb zunächst unbemerkt. Als Erstmaßnahme wurde der zerrissene Ärmel mit Tesafilm überklebt, um ein weiteres Eindringen von Aktivität zu verhindern. Anschließend verließ der Mann jedoch die Plutoniumzelle, da er glaubte, eine Blutung zu verspüren.

Als Erste-Hilfe-Maßnahme am Unfallort wurde nach dem Ausziehen des Atemvollschutzanzuges eine Blutstauung am rechten Oberarm angelegt und die Wunde mit einem sterilen Verband versehen. Anschließend erfolgte der Transport in die medizinische Strahlenunfallambulanz. Die Zeitspanne vom Unfallereignis bis zur Anlage der Venenstauung betrug etwa 8 Minuten.

3. Befunde

3.1. Lokalbefund

Ca. 4 cm glattrandige Reiß-Schnittwunde im Bereich der ulnaren Streckseite des rechten Handgelenks. Die am rechten Oberarm angelegte Staubbinde liegt gut.

3.2. Laborchemische Befunde

Blutbild

Hb	15,8 g%
Erythrozyten	4,54 Mill./cmm
Leukozyten	8000/cmm
HbE	34,8

Differential-Ausstrich:

Stabkernige	3%
Segmentkernige	73%
Lymphozyten	16%
Monozyten	6%
Eosinophile	1%
Basophile	1%

Thrombozyten, absolut	218 000
relativ	48 ⁰ / ₁₀₀

Urinstatus

Spezifisches Gewicht	1018
----------------------	------

Eiweiß	Ø
Zucker	→1,5%
Urobilinogen	-/+
Sediment:	Schleim
Blutzucker	130 mg% (Mittagswert)
Kreatinin	1,18 mg%
Harnstoff	14 mg%
Harnstoff-N	6 mg%
Rest-N	26,5 mg%

Die leichte Glukosurie war ein Nebenbefund, der sich im Beobachtungszeitraum wieder zurückbildete. Ein Staub-Traugott-Belastungstest ergab keinen Anhalt für eine diabetische Stoffwechsellaage.

4. Diagnostische Maßnahmen

4.1. Wundausmessung

Da das Radionuklid bekannt war, konnte in der Medizinischen Abteilung sofort mit der gezielten Wundausmessung begonnen werden. Die Messung der α -Strahlung mit einem Großflächenproportionalzähler ergab eine Impulsrate von 89000 Impulsen/Minute bei einem Nulleffekt von 3 Impulsen/Minute. Dies entsprach etwa einer α -Aktivität von 200 nCi an der Oberfläche und Umgebung der Wunde, wobei in die Tiefe verlagerte und durch Wundsekret abgedeckte Aktivitätsdepots nicht in die Rechnung eingegangen sind. Zum Ausschluß einer in tiefere Gewebsabschnitte verlagerten Wundaktivität wurde zusätzlich eine Messung mit einem Szintillationszähler, bestehend aus einem 1 mm dicken NaJ(Tl)-Kristall, zur Erfassung der 17 keV-Röntgenstrahlung des Plutoniums durchgeführt. Sie ergab ca. 250 nCi. Daraus konnte bereits geschlossen werden, daß sich die Hauptaktivität im Bereich der oberen Wundschichten befinden mußte.

4.2. Ausscheidungsanalysen

Zum Ausschluß einer Inkorporation des Radionuklids durch Aszension über eröffnete Lymphspalten und Blutgefäße wurden

Aktivitätsanalysen in Blut-, Urin- und Stuhlproben durchgeführt.

5. Therapeutische Maßnahmen

5.1. Chirurgische Behandlung

Die vorliegende Verletzung ergab aufgrund ihrer Kontamination mit einem hochradioxischen und langlebigen Isotop die absolute Indikation zu aktiv chirurgischem Vorgehen. Die Versorgung der Verletzung wurde in einem nahe gelegenen Krankenhaus durchgeführt und die Kontrollmessung mit einem transportablen Meßgerät vorgenommen. Die Therapie bestand in einer ausgiebigen Wundrandexzision mit anschließendem Verschluß der Wunde. Auf diese Weise konnte die ursprüngliche Impulsrate von

89000 Impulsen pro Minute auf 3000 Impulse pro Minute gesenkt werden. Dies entsprach einer errechneten Restaktivität von ca. 7 nCi an der Wunde. Die noch verbliebene Restaktivität konnte in den Bereich der vernähten Wundränder lokalisiert werden. Dabei wurde angenommen, daß die Wundrandexzision im kontaminierten Hauptgebiet vorgenommen worden war, so daß bei der Vernähung der Verletzung die Aktivität sich in die vernähte Schnittwunde projizierte. Wegen einer leichten Reizung der Wunde wurde von einer nochmaligen Wundrandexzision Abstand genommen. Abbildung 1 zeigt die durch die Wundrandexzision erzielte Senkung der Wundaktivität und die kontinuierliche spontane Abnahme

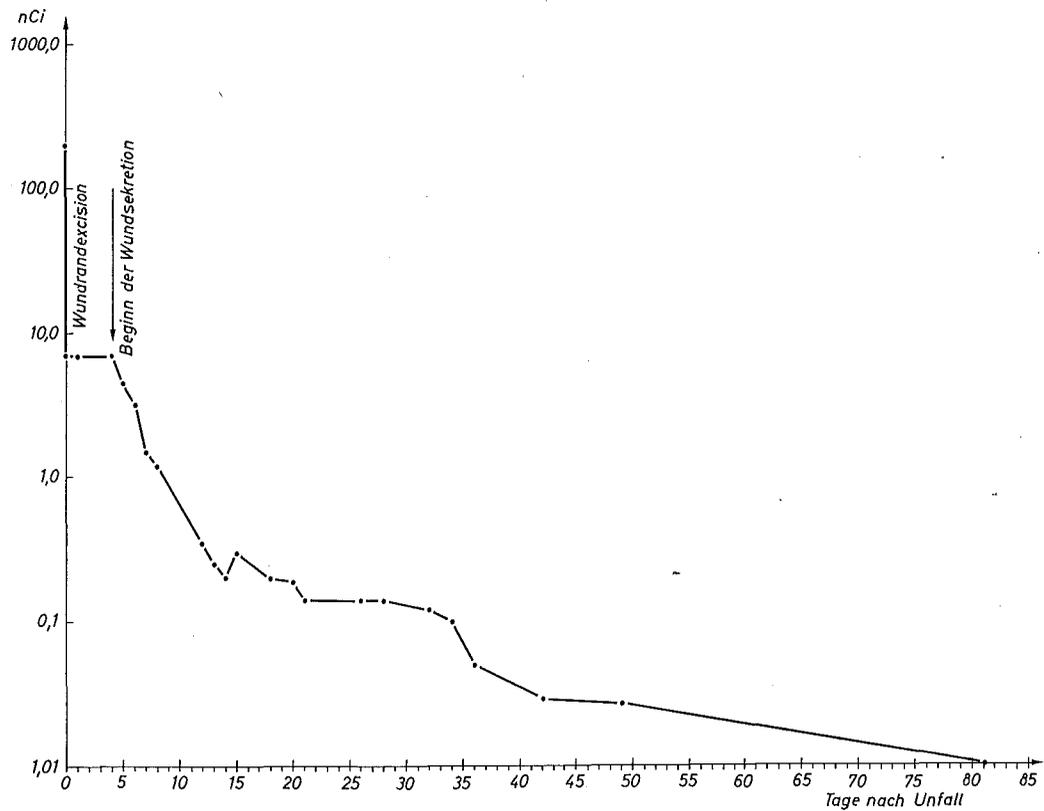


Abbildung 1. Abfall der Wundaktivität nach Wundrandexzision und nach Einsetzen der Wundsekretion.

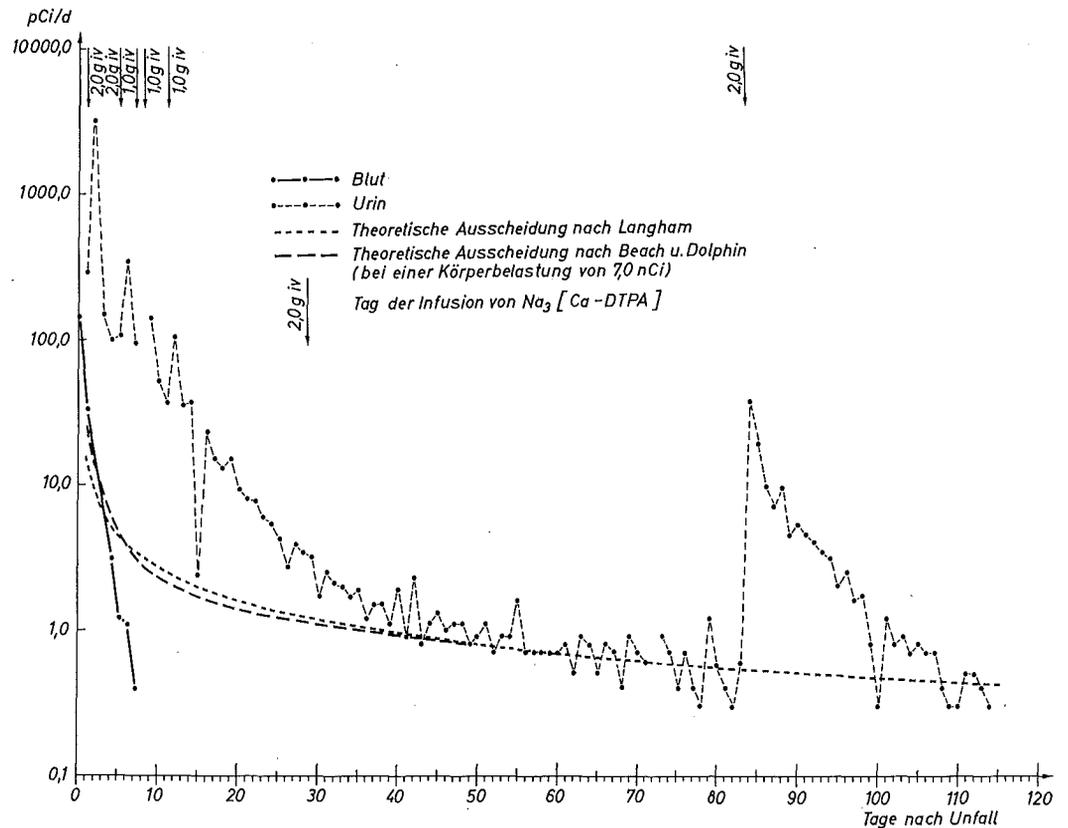


Abbildung 2. Tägliche Plutoniumausscheidung im Urin im Vergleich zur theoretischen Ausscheidung, errechnet nach Langham sowie Beach und Dolphin.

der Restaktivität bis zur Nachweisgrenze des Meßgerätes. Die einzelnen Werte wurden nach jedem Verbandwechsel durch Nachmessung der α -Strahlung von der Wundoberfläche und dem Verbandsmüll mit einem Großflächenproportionalzähler gewonnen. Man kann in diesem Zusammenhang von einer biologischen Selbstreinigung der Wunde sprechen. Der Vorgang läßt sich erklären durch einen beständigen leichten Sekretfluß aus der Wunde, durch den auch Restaktivität ausgeschwemmt worden ist, und zum anderen durch die physiologische Zellerneuerungspotenz der Epidermis. Der Versuch, diesen Prozeß durch mit $\text{Na}_3[\text{Ca}$ -

DTPA]¹ angefeuchtete Mullagen zu verstärken, erbrachte im Vergleich zu trockenen Mullaufgaben keine Verbesserung der Wundreinigung.

5.2. Medikamentöse Zusatztherapie

Da es sich im vorliegenden Falle um eine Plutoniumnitrat-Kontamination handelte, war davon auszugehen, daß bereits in der Zeit bis zur Anlage der Venenstauung eine Inkorporation durch Aszension des Isotops

¹ 20%ige wäßrige Lösung des Calciumtrinitriumsalzes der Diäthylentriaminpentaessigsäure (Ditripentat Heyl®).

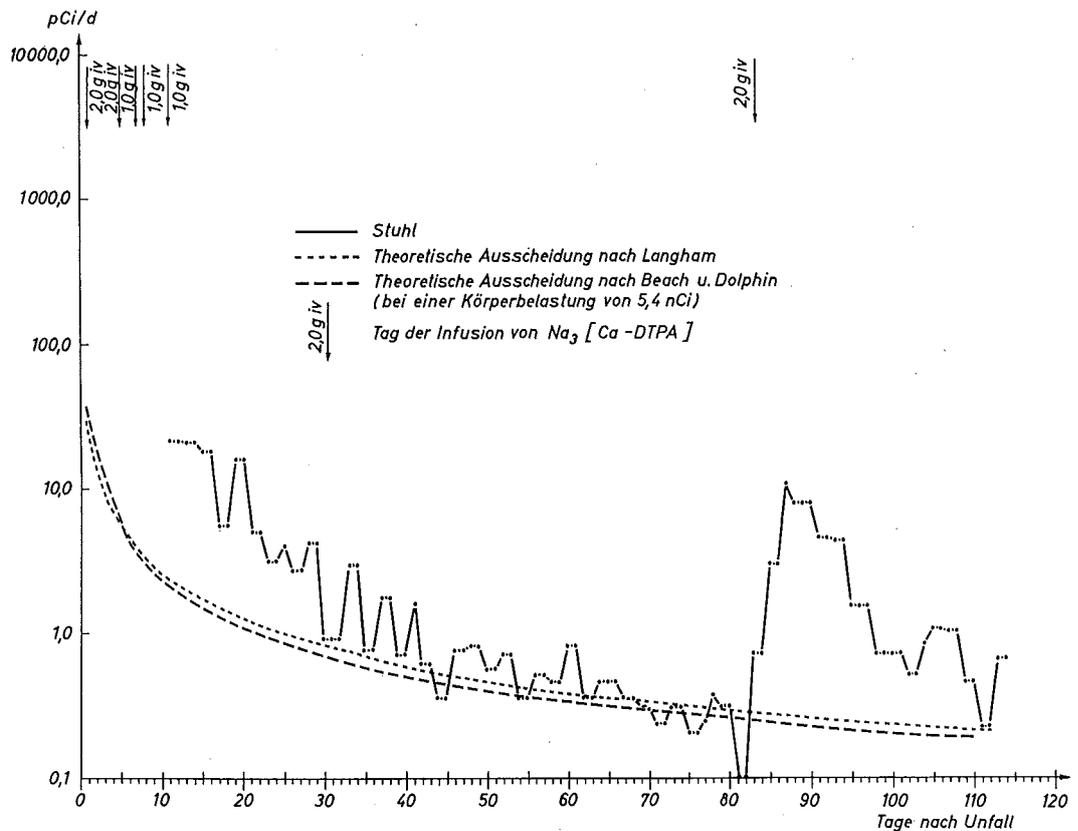


Abbildung 3. Tägliche Plutoniumausscheidung im Stuhl im Vergleich zur theoretischen Ausscheidung, errechnet nach Langham sowie Beach und Dolphin.

über eröffnete Lymphspalten und Blutgefäße stattgefunden haben mußte. Die durchgeführten Aktivitätsanalysen in Blut-, Urin- und Stuhlproben bestätigten später diesen Verdacht. Dies ergab die Indikation zu einer medikamentösen Zusatztherapie. Es wurden insgesamt 6 intravenöse Infusionen mit Na₃[Ca-DTPA] verabfolgt, davon 3 Infusionen mit je 2 g Na₃[Ca-DTPA] auf 250 ml physiologischer Kochsalzlösung und 3 Infusionen mit je 1 g Na₃[Ca-DTPA] auf 250 ml physiologischer Kochsalzlösung [1]. Die erste 2 g-Dosis wurde am ersten Tag nach dem Zwischenfall appliziert, die zweite 2 g-Infusion am 5. Tag nach dem Ereignis.

Daran anschließend folgten am 7., 8. und 11. Tag nach dem Vorfall jeweils eine 1 g-Dosis sowie am 83. Tag eine 2 g-Dosis. Vor jeder Behandlung wurde ein Urinstatus zum Ausschluß einer Nierenschädigung durchgeführt. Die Infusionsdauer pro Infusion betrug etwa 1½ Stunden bei einer Tropfzahl von 60 Tropfen/Minute. Der Verletzte hat die Therapie ohne Nebenwirkungen gut vertragen.

Die sich aus der Behandlung ergebende Intensivierung der Plutoniumausscheidung im Urin und Stuhl ist in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt.

1973	Aktivität im		Stuhl pCi/Menge	1973	Aktivität im		Stuhl pCi/Menge
	Venenblut pCi/Menge	Urin pCi/Menge			Venenblut pCi/Menge	Urin pCi/Menge	
29.3.	145 /44 g			11.5.		0,8/1500 ml	1,2/205 g
30.3.	32,8/49 g	295,4/ 950 ml		12.5.		1,1/1150 ml	
2 g Na ₂ [Ca-DTPA]* iv.				13.5.		1,3/1100 ml	0,7/165 g
31.3.		3170 /1900 ml		14.5.		1,0/1950 ml	
1.4.		148,2/ 950 ml		15.5.		1,1/1150 ml	1,5/166 g
2.4.	3,1/91 g	102,9/1850 ml		16.5.		1,1/1450 ml	
3.4.	1,2/50 g	107,6/1000 ml		17.5.		0,8/1900 ml	1,7/230 g
2 g Na ₂ [Ca-DTPA] iv.				18.5.		0,9/1850 ml	
4.4.	1,1/49 g	367,2/1000 ml		19.5.		1,1/1930 ml	1,1/140 g
5.4.	0,4/46 g	95,5/1800 ml	31,4/ 60 g	20.5.		0,7/ 950 ml	
1 g Na ₂ [Ca-DTPA] iv.				21.5.		0,9/1450 ml	1,4/290 g
1 g Na ₂ [Ca-DTPA] iv. (6.4.1973)				22.5.		0,9/1100 ml	
7.4.		137 /1050 ml		23.5.		1,6/1500 ml	0,7/120 g
8.4.		51 /1650 ml		24.5.		0,7/1900 ml	
9.4.		37 /1750 ml		25.5.		0,7/1850 ml	1,0/335 g
1 g Na ₂ [Ca-DTPA] iv.				26.5.		0,7/1900 ml	
10.4.		106 /1000 ml	43 /265 g	27.5.		0,7/2000 ml	0,9/120 g
11.4.		35 /1950 ml		28.5.		0,7/1650 ml	
12.4.		37 /1450 ml	42 /270 g	29.5.		0,8/1450 ml	1,6/160 g
13.4.		2,4/1850 ml		30.5.		0,5/1900 ml	
14.4.		23 /1450 ml	36 /215 g	31.5.		0,9/1300 ml	0,7/240 g
15.4.		15 /1980 ml		1.6.		0,8/1200 ml	
16.4.		13 / 950 ml	11 / 90 g	2.6.		0,5/1050 ml	
17.4.		15 /1450 ml		3.6.		0,8/1700 ml	1,4/280 g
18.4.		9,2/1600 ml	32 /198 g	4.6.		0,7/1900 ml	
19.4.		8,2/1000 ml		5.6.		0,4/1300 ml	0,7/260 g
20.4.		7,8/1400 ml	9,7/220 g	6.6.		0,9/1550 ml	
21.4.		6 /1750 ml		7.6.		0,7/1250 ml	0,6/200 g
22.4.		5,4/ 840 ml	6,3/183 g	8.6.		0,6/1320 ml	
23.4.		4,2/1360 ml	4 /170 g	9.6.			0,5/325 g
24.4.		2,7/1200 ml		10.6.		0,9/1000 ml	
25.4.		3,9/1800 ml	5,3/220 g	11.6.		0,7/1100 ml	0,6/175 g
26.4.		3,4/1550 ml		12.6.		0,4/1300 ml	
27.4.		3,2/1250 ml	8,4/335 g	13.6.		0,7/1430 ml	0,4/170 g
28.4.		1,7/1100 ml		14.6.		0,4/1430 ml	0,2/ 91 g
29.4.		2,5/1100 ml		15.6.		0,3/1900 ml	0,4/317 g
30.4.		2,1/1450 ml	2,7/240 g	16.6.		1,2/1900 ml	
1.5.		2,0/1400 ml		17.6.		0,6/1900 ml	0,6/204 g
2.5.		1,7/1380 ml	5,9/280 g	18.6.		0,4/1210 ml	
3.5.		1,9/1150 ml		19.6.		0,3/1100 ml	0,2/239 g
4.5.		1,2/1700 ml	1,5/170 g	20.6.		0,6/1430 ml	
5.5.		1,5/1800 ml		2 g Na ₂ [Ca-DTPA] iv.			
6.5.		1,5/1150 ml	2,1/200 g	21.6.		36,8/1700 ml	1,4/338 g
7.5.		1,1/1850 ml		22.6.		19,7/1780 ml	
8.5.		1,9/1850 ml	1,4/155 g	23.6.		9,7/2000 ml	7,8/210 g
9.5.		0,9/1850 ml	1,6/150 g	24.6.		7,0/3000 ml	10,4/201 g
10.5.		2,3/1700 ml		25.6.		9,4/2000 ml	7,6/115 g
				26.6.		4,5/2000 ml	
				27.6.		5,2/1540 ml	15,3/380 g
				28.6.		4,5/1330 ml	
				29.6.		4,0/1100 ml	8,7/208 g

1973	Aktivität im		Stuhl pCi/Menge
	Venenblut pCi/Menge	Urin pCi/Menge	
30.6.		3,4/1540 ml	
1.7.		3,1/1760 ml	8,4/262 g
2.7.		1,5/2000 ml	
3.7.		2,5/1430 ml	
4.7.		1,6/1900 ml	4,4/300 g
5.7.		1,7/1000 ml	
6.7.		0,8/1320 ml	1,4/110 g
7.7.		0,3/1870 ml	
8.7.		1,2/1850 ml	1,4/297 g
9.7.		0,8/1950 ml	
10.7.		0,9/1150 ml	1,0/190 g
11.7.		0,7/1300 ml	0,8/190 g
12.7.		0,8/1230 ml	
13.7.		0,7/1550 ml	2,1/260 g
14.7.		0,7/2000 ml	
15.7.		0,4/1400 ml	2,0/192 g
16.7.		0,3/1650 ml	
17.7.		0,3/2000 ml	0,9/326 g
18.7.		0,5/1900 ml	
19.7.		0,5/2000 ml	
20.7.		0,4/1900 ml	0,4/238 g

* = Calciumtrinitriumsalz der Diäthylentriamin-pentaessigsäure.

Tabelle 1. Ergebnisse der Aktivitätsanalysen in Blut-, Urin- und Stuhlproben.

Die Plutoniumausscheidungsrate war un-mittelbar nach der Applikation der ersten $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ -Infusion signifikant ange-stiegen. Der weitere Verlauf der Therapie zeigte eine Verringerung der Ausscheidungs-intensivierung, so daß schließlich nach der 5. Infusion eine therapeutische Pause von 71 Tagen eingelegt wurde. Dies war erfor-derlich, um die natürliche Ausscheidungsrate des Plutoniums wiederherzustellen und die Abschätzung der endgültigen Körperbelastung aus Urin- und Stuhlwerten vorzuneh-men.

Nachdem diese einen Wert von ca. 7 nCi ergeben hatte (siehe 6.2.), war die Indika-tion einer weiteren 2 g $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ -In-fusion mit dem Ziel einer Verringerung des Depots gegeben.

6. Abschätzung der Körperbelastung

6.1. Abschätzung aus den Meßergebnissen der ersten Tage nach dem Zwischenfall

Aus dem Analysenergebnis der Blutprobe, die vor der $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ -Infusion ent-nommen worden war (siehe Tabelle 1), wurde der Verdacht auf eine Plutoniumin-korporation bestätigt. Eine Aussage über die Höhe der Ablagerung konnte aus diesem Ergebnis nicht gemacht werden. Der Wert der ersten Urinanalyse konnte ebenfalls für eine Abschätzung der Körperbelastung nicht verwendet werden, da die zur Verfügung stehenden Ausscheidungsgleichungen erst für spätere Zeiträume Gültigkeit haben.

Zur Berechnung wurden nachfolgende Glei-chungen benutzt:

Nach Langham [3]:

$$Y_u(t) = 0,23 \cdot t^{-0,77} \quad (1)$$

$$Y_f(t) = 0,63 \cdot t^{-1,09} \quad (2)$$

Nach Beach und Dolphin [3]:

$$Y_u(t) = 0,41 \cdot e^{-0,07t} + 0,16 \cdot t^{-0,68} \quad (3)$$

$$Y_f(t) = 0,40 \cdot e^{-0,46t} + 0,4 \cdot t^{-1} \quad (4)$$

$Y_u(t)$ ist die prozentuale tägliche Ausscheidungsrate im Urin und $Y_f(t)$ die prozentuale tägliche Aus-scheidungsrate im Stuhl zur Zeit t .

Die Anwendung dieser Gleichungen zum Zeitpunkt der medikamentösen Behandlung mit $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ erbrachte keine siche-ren Ergebnisse, da die Plutoniumausschei-dung im Stuhl und Urin um einen Faktor von 50–100 erhöht sein konnte. Erfahrungsgemäß ist am Tage nach der Behandlung mit einer Steigerung der Ausscheidungsrate um den Faktor 50 zu rechnen [5], so daß für Frühabschätzungen unter $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ -Behandlung eine Annäherungsrechnung möglich wird.

Unter der Annahme einer therapeutisch be-dingten 50-fachen Ausscheidungssteigerung wurden nachfolgende Erstabschätzungen vorgenommen:

Tag nach Zwischenfall	Abschätzung der Körperbelastung	
	nach Langham	nach Beach + Dolphin
2.	47 nCi	36 nCi
6.	13 nCi	14 nCi
9.	6,5 nCi	7 nCi
12.	6,3 nCi	7,3 nCi

Tabelle 2. Frühabschätzung der Körperbelastung aus Urinalysen nach $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ -Infusionen.

Der Wert für die am 2. Tag abgeschätzte Körperbelastung war mit Sicherheit zu hoch, da die anfängliche Steigerung der Ausscheidungsrate wesentlich höher als der Faktor 50 war, wie sich aus den späteren Ausscheidungswerten ergab.

6.2. Endgültige Abschätzung der Körperbelastung nach Absetzen der $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ -Behandlung

Bis zum 83. Tag nach dem Zwischenfall wurden fortlaufend Urin- und Stuhlproben gesammelt.

Die Abschätzung der Körperbelastung aus Urin- und Stuhlwerten unter Anwendung der Gleichungen (1) bis (4) führte zu den Körperbelastungen, die in Tabelle 3 zusammengestellt sind.

Die Körperbelastungen wurden bis zum 50. Tag nach dem Zwischenfall (ca. 40. Tag nach der letzten $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ -Infusion) noch zu hoch abgeschätzt, da die Wirkung des Komplexbildners offenbar noch so lange anhielt.

Die endgültige Abschätzung der Körperbelastung aus den Urinalysen konnte erst aus den Werten vom 60. bis 80. Tag vorgenommen werden, wobei eine gute Übereinstimmung der errechneten Körperbelastung aus Urinwerten sowohl nach der Gleichung von Langham als auch von Beach und Dolphin festgestellt werden konnte.

7. Therapeutischer Effekt von $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$

Mit den Gleichungen (1) bis (4) bestand die Möglichkeit, die theoretische Ausscheidung des Plutoniums im Urin und Stuhl ohne Applikation von $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ zu errechnen. Bei einer Körperbelastung von 7 nCi würden theoretisch ca. 280 pCi Plutonium in den ersten 83 Tagen nach dem Unfall im Urin und Stuhl ausgeschieden werden. Die tatsächlich ausgeschiedene Menge war jedoch erheblich höher und betrug allein im Urin ca. 5 nCi. Unter der Voraussetzung, daß die Ausscheidung im Stuhl in gleichem Maße erhöht war, konnte angenommen werden, daß anfänglich eine Menge von insgesamt 12 bis 17 nCi inkorporiert war, von der jedoch 5 bis 10 nCi innerhalb der ersten 83 Tage wieder ausgeschieden wurden. Der therapeutische Effekt des $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ wäre somit durch eine Ausscheidung von 40 bis 60% der anfänglich inkorporierten Menge bemerkenswert hoch.

Die Wirksamkeit des $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ am 83. Tage nach dem Unfall war dagegen geringer. Die theoretisch errechnete Plutoniumausscheidung betrug bei einer Körperbelastung von 7 nCi im Urin und Stuhl ohne $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ -Einwirkung in der Zeit vom 84. bis 114. Tag insgesamt ca. 25 pCi. Es wurden jedoch etwa 200 pCi Plutonium im Urin und Stuhl ausgeschieden, was einer therapeutischen Wirkung des $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ zu diesem Zeitpunkt von ca. 2,5% der Körperbelastung entsprach.

8. Diskussion

Die Indikation zur medikamentösen Zusatztherapie einer kontaminierten Verletzung ist durch das Problem einer genauen Abschätzung der Körperbelastung erschwert. Im vorliegenden Falle war durch die bereits festgestellte Inkorporation eine sofortige $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ -Therapie indiziert. Infolge

Tag nach Zwischenfall	Abgeschätzte Körperbelastung			
	aus Urinwerten		aus Stuhlwerten	
	nach Langham	Beach u. Dolphin	Langham	Beach u. Dolphin
20.	46,7 nCi	52,3 nCi	33,9 nCi	40,6 nCi
30.	14,9 nCi	15,2 nCi	14,2 nCi	16,9 nCi
40.	10,4 nCi	10,9 nCi	8,3 nCi	9,4 nCi
50.	8,8 nCi	9,1 nCi	7,1 nCi	8,1 nCi
60.	7,0 nCi	7,1 nCi	7,0 nCi	7,8 nCi
70.	7,0 nCi	7,0 nCi	4,9 nCi	5,5 nCi
80.	7,0 nCi	7,0 nCi	4,3 nCi	4,8 nCi

Tabelle 3. Endgültige Abschätzung der Körperbelastung aus Urin- und Stuhlwerten.

der sich hieraus ergebenden Ausscheidungsintensivierung war eine frühzeitige Abschätzung der Körperbelastung nur annähernd möglich.

Eine Frühabschätzung der Körperbelastung unter $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ -Einwirkung erbrachte erst einige Tage nach dem Ereignis einen zuverlässigen Wert.

Nach Abklingen der Wirkung des $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ und Wiederherstellung der natürlichen Ausscheidung des Plutoniums konnte die endgültige Abschätzung der Körperbelastung vorgenommen werden. Sie betrug 7 nCi und stimmte mit der am 9. und 12. Tag nach dem Zwischenfall vorgenommenen Abschätzung weitgehend überein.

Durch Vergleich der theoretisch errechneten und praktisch ermittelten Ausscheidungsmengen an Plutonium kann der Wirkungseffekt des $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ hinreichend gut abgeschätzt werden.

Durch die sofortige Verabfolgung von $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ konnte ca. die Hälfte der anfänglich inkorporierten Plutoniummenge zur Ausscheidung gebracht werden. Dieser günstige therapeutische Effekt war vorwiegend auf eine Komplexbildung des noch im Blut befindlichen Plutoniums zurückzuführen, da zu diesem Zeitpunkt das Körperdepot noch nicht groß gewesen sein konnte. Für diese Annahme sprach neben dem ra-

schen Abfall der Blutaktivität auch der am 1. Tag nach dem Unfall und vor Beginn der $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ -Therapie ermittelte relativ hohe Urinwert von 300 pCi, der zu diesem Zeitpunkt vorwiegend die Blutaktivität und nur in geringem Maße die des Depots widerspiegelte.

Nachdem sich die Plutoniumausscheidung nach Absetzen der Therapie und Einlegen einer therapeutischen Pause von 71 Tagen stabilisiert hatte, konnte angenommen werden, daß die Ausscheidung jetzt von einem Körperdepot herrührte. In diesem Zeitraum wurde die endgültige Abschätzung der Körperbelastung vorgenommen.

Die am 83. Tag nach dem Vorfall erneut applizierte i.v.-Infusion von 2 g $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ führte wiederum zu einer deutlichen Ausscheidungsintensivierung. Zu diesem Zeitpunkt war davon auszugehen, daß das Radionuklid bereits vorwiegend in Skelett und Hepar abgelagert worden war.

Die gegenüber der initialen Therapie am 83. Tag geringere Wirkung des $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ konnte so gedeutet werden, daß zu diesem Zeitpunkt das bereits fixierte Körperdepot größer war als die therapeutisch erfaßbare Blutaktivität. Der therapeutische Effekt betrug daher gegenüber der anfänglichen Wirkung nur 2,5% des abgeschätzten Körperdepots.

Report about a plutonium-239 contaminated lacerated and incised wound

The diagnostic-therapeutical measures are reported for a plutonium-239 contaminated lacerated and incised wound on the extensor side of the right wrist joint. The alpha-activity measured at the wound was about 200 nCi and could be lowered to 7 nCi by one single excision of the wound lip. Additional decontamination of the wound was provided by wound secretion starting on the fifth day after excision of the wound lip.

An intravenous medicamentous therapy carried out in support with $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ (Ditripentat Heyl®) produced a marked reduction in the initial deposition in the body.

Based on activity analyses performed with urine and faecal samples and using the equations proposed by Langham as well as by Beach and Dolphin, the problem is discussed of an early and ultimate estimate of the body burden, when $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ is employed for treatment.

Rapport sur une plaie déchirée et coupée, contaminée par Pu-239

On rapporte sur les diagnostics et thérapeutiques employées pour une plaie déchirée et coupée, qui fut contaminée par Pu-239 et se situait sur le côté d'extension du poignet droit. L'activité alpha mesurée sur la plaie s'élevait à environ 200 nCi et pouvait être diminuée à 7 nCi par une seule excision du bord de la plaie. Une décontamination supplémentaire de la plaie s'était produite par une sécrétion de la plaie intervenant dès le 5. jour après l'excision du bord de la plaie.

Une thérapie supplémentaire intraveineuse et médicamenteuse à l'aide de $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ (Ditripentat Heyl®) conduisait à une réduction remarquable de la fixation initiale d'activité dans le corps.

Moyennant des analyses d'activités effectuées sur les échantillons d'urine et de fèces et s'appuyant sur les équations établies par Langham ainsi que par Beach et Dolphin, on discute le problème d'une évaluation précoce et définitive de la charge corporelle pour le cas d'administration de $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$.

Literatur

1. Catsch, A.: Dekorporierung radioaktiver und stabiler Metallionen. Therapeutische Grundlagen. Thiemig KG, München 1964.
2. ICRP Publication 2: Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation 1959.
3. ICRP Publication 10: Report of Committee IV on Evaluation of Radiation Doses to Body Tissues from Internal Contamination due to Occupational Exposure 1968.
4. ICRP Publication 19: The metabolism of compounds of plutonium and other actinides. A report prepared by a Task Group of Committee 2 of the International Commission on Radiological Protection 1972.
5. Jech, J.J., B.V. Andersen, K.R. Heid: Interpretation of human urinary excretion of plutonium for cases treated with DTPA. *Health Phys.* 22 (1972), 787-792.
6. Norwood, W.D.: Removal of plutonium and other transuranic elements from man. *Aus: Diagnosis and treatment of radioactive poisoning*, p. 307-318. IAEA, Vienna 1963.

Verfasser: Dr. med. L. Ohlenschläger, Medizinische Abteilung, Dr. rer. nat. H. Schieferdecker, Medizinische Abteilung/Toxikologisches Labor, Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., 75 Karlsruhe, Postfach 3640.