

Summary

Collaboration of engineers and physicians in accident prevention

Technical protection represents one of several conditions which are necessary to protect the health of working people. As men are themselves part of technical systems, an integrated approach of safety and health protection is needed. The task is not only interdisciplinary but also transdisciplinary. Safety efforts have to take into account the three elements hardware, procedures and people as well as the three interfaces between these elements. The cooperation between engineers and medical doctors on workplace inspections, on accident investigations and on reintegration of injured workers are described.

Literatur

- [1] Bigler, F. W., Kommentar zum Arbeitsgesetz, Schweiz. Gewerkschaftsbund 1966.
- [2] Bundesamt für Zivilluftfahrt, Reglement über die Ausweise für Flugpersonal vom 25. März 1975, EDMZ Bern, Bezugsnummer SR 748.222.1.
- [3] President's Commission on the accident at Three Mile Island, Übersetzung des offiziellen Untersuchungsberichtes mit Stellungnahmen von Jungk, R., und Müller, W. D. (Erb Verlag, Düsseldorf 1979).
- [4] Schweizerische Gesellschaft für Arbeitsmedizin, Arbeitshygiene und Arbeitssicherheit, Arbeitspapier Herbst 1979.
- [5] SUVA-Fünfjahresbericht, Ergebnisse der Unfallstatistik der sechsten fünfjährigen Beobachtungsperiode 1943-1947, S. 52, 1950.
- [6] US Atomic Energy Commission, Division of operational safety, MORT, the management oversight and risk tree 1973.
- [7] US Energy and Research Development Agency, ERDA, Accident/Incident Investigation Manual, 1975.
- [8] US National Aeronautics and Space Administration, NASA, NHB 1700.1 (V3) System Safety 1970.
- [9] Zirner, F., Arbeitsmedizin im Rahmen der Sicherheitstechnik – Aufgaben und erste Erfahrungen eines überbetrieblichen Dienstes, Technische Überwachung 18/2, S. 47-53, 1977.

Plan d'urgence lors d'accidents avec risque lié aux radiations ionisantes: collaboration entre la médecine du travail et la radioprotection

M.-A. Boillat¹ et J.-F. Valley², Lausanne

1. Introduction

D'après les statistiques suisses de 1980, un peu plus de 40 000 personnes sont régulièrement surveillées du point de vue d'une éventuelle exposition professionnelle à des radiations ionisantes [1]. Alors que 65 % de ces personnes travaillent dans le domaine médical, un nombre relativement important, 20 %, provient du secteur universitaire ou de la recherche, le reste étant partagé entre les centrales nucléaires, l'industrie et les services publics. Il ressort des mêmes statistiques qu'une exposition supérieure aux limites jugées admissibles est exceptionnelle. La probabilité d'un accident par radiations ionisantes est donc très faible. La rareté de cet événement ne justifie cependant pas qu'on néglige ce risque, d'autant plus que ses conséquences peuvent être graves.

A notre avis, tout établissement où il y a possibilité d'être exposé à des radiations ionisantes devrait posséder son propre plan d'urgence en cas d'accidents. Alors que cela existe depuis longtemps dans certains secteurs, tels que les centrales nucléaires ou autres, nous ne pensons pas que cela soit le cas dans l'ensemble des laboratoires qui manipulent des substances radioactives.

L'idée de cet article, dont l'orientation est surtout médicale, est de présenter un plan d'urgence tel qu'il a été établi dans le cadre d'une collaboration entre les deux instituts dont les auteurs font partie. Cette collaboration remonte d'ailleurs à plusieurs années, à l'occasion des examens médicaux du personnel exposé aux radiations ionisantes. Les schémas présentés ne sont qu'un exemple adapté à une situation particulière. Par conséquent, leur application ne peut pas d'emblée être généralisée. Certains éléments de ce plan d'urgence sont tirés de documents nationaux [7] et internationaux [2, 3]. Après un bref rappel des effets biologiques des radiations ionisantes, un inventaire des situations d'urgence est présenté, suivi d'une description des mesures envisagées sur les lieux de l'accident déjà. Intentionnellement, il ne sera pas fait mention des traitements ultérieurs du syndrome d'irradiation, qui sont du ressort de l'hôpital.

2. Nature des effets

On distingue deux types d'effets liés à l'irradiation. Le premier est de nature stochastique. Il est caractérisé par une incidence aléatoire sur les personnes soumises à l'irradiation. Les principaux effets de nature stochastique sont la cancérogénèse actinique et l'induction de malformations dans la descendance des individus irradiés. Leur apparition est différée, c'est pourquoi ils ne jouent pas de rôle dans l'établissement d'un plan d'urgence.

Les effets de nature non stochastique n'interviennent qu'à des doses relativement élevées. Dans le cas de

¹ D^r méd.; Institut universitaire de médecine du travail et d'hygiène industrielle (directeurs: professeur M. Lob et M. Guillemin, professeur associé), rue César-Roux 18, CH-1005 Lausanne.

² Institut de radiophysique appliquée (directeur: professeur P. Lerch). Service de la santé publique, CH-1015 Lausanne-Dorigny.

l'irradiation aiguë du corps entier, on distingue le syndrome hématopoïétique (dès 200 rem³), le syndrome gastro-intestinal (dès 500 rem) et le syndrome du système nerveux central (dès 2000 rem). Les effets communs à ces situations sont les suivants: nausées et vomissements, malaises et fatigue, état fébrile. Le syndrome hématopoïétique est caractérisé par la destruction de la moelle osseuse. Alors que la régénération est encore possible entre 400 et 600 rem, elle ne l'est plus dès 700 rem. Dans le cas du syndrome gastro-intestinal, on assiste à la destruction de la muqueuse. La mort intervient dans les semaines qui suivent l'irradiation. Aux doses très élevées, le système nerveux central est atteint et la mort a lieu dans les heures qui suivent.

Parmi les effets dus à l'irradiation partielle de l'organisme, citons:

- l'érythème. Il est lié à une irradiation de la peau dès 300 rem. Aux doses plus élevées s'ajoutent pigmentation, épilation, ulcération, nécrose;
- la stérilité. Une irradiation des testicules à une dose de 100 rem conduit déjà à une stérilité temporaire. Plus la dose est élevée, plus la durée de la stérilité est longue, atteignant plusieurs années après une dose de 500 rem. Une irradiation des ovaires à une dose de 300 rem conduit également à une stérilité temporaire;
- la cataracte. Pour une irradiation à faible débit par des radiations telles que les rayons X et γ ou les électrons, une dose totale de 1500 rem est encore en dessous du seuil d'induction. En revanche, pour une irradiation aiguë à l'aide de neutrons, on observe déjà cet effet à une dose de 400 rem.

3. Situations d'irradiation

On distingue deux situations d'irradiation qui exigent des attitudes très différentes concernant les mesures d'urgence: l'irradiation externe et la contamination interne.

3.1 Irradiation externe

Elle correspond à une situation d'irradiation au cours de laquelle la source se trouve à l'extérieur de l'organisme; celui-ci n'est atteint que par les radiations émises par la source. Ce risque touche principalement les personnes travaillant avec les sources radioactives scellées ou les générateurs de radiations ionisantes. Dans le cas de l'institut qui fait l'objet de ce travail, les travaux où ce risque est important ont été identifiés et sont donnés au *tableau 1*.

3.2 Contamination interne

Elle correspond à la situation au cours de laquelle la substance radioactive a été incorporée dans l'organisme; les rayonnements sont alors issus de l'intérieur de l'organisme. Ce risque est important lorsqu'on

manipule des sources ouvertes (liquides, poudres). En cas d'accident (incendie, accident de transport), l'enveloppe d'une source scellée peut se rompre; ainsi, il est également nécessaire de prendre en compte ce risque dans le cadre des mesures d'urgence pour le travail avec les sources scellées.

Les mesures d'intervention dépendent essentiellement des radionucléides mis en jeu (voir chap. 4). Les principaux radioéléments repérés dans notre domaine d'activité sont donnés au *tableau 2*.

Contrôle des installations de radiothérapie externe (béta-tron, ⁶⁰Co, rayons X conventionnels).

Utilisation d'un appareil à chargement différé en curiethérapie gynécologique (source de ¹³⁷Cs de 5 Ci).

Manipulation d'aiguilles destinées à la curiethérapie gynécologique (sources de ²²⁶Ra de 20 mCi).

Participation à des séances de radiothérapie intracavitaire ou interstitielle (sources de ¹³⁷Cs de 100 mCi ou de ¹⁹²Ir de 100 mCi).

Manipulation d'un irradiateur à sources multiples (⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am) d'activité située entre 0,1 et 10 Ci et d'une installation industrielle à rayons X (tension maximale 300 kV) dans un local d'irradiation.

Manipulation de sources diverses utilisées en médecine nucléaire (^{99m}Tc, ¹³¹I) dans un laboratoire de radiochimie avec cellules blindées munies de télémanipulateurs.

Tabl. 1. Situations avec risque d'irradiation externe

Radio-nucléide	Domaine d'application
³ H	applications biologiques (thymidine tritiée: ~1 mCi)
³² P	applications en médecine nucléaire (1-20 mCi)
⁶⁰ Co	sources scellées (voir tabl. 1)
⁹⁰ Sr	sources scellées utilisées en radiothérapie (~20 mCi) et sources de calibration d'instruments (20 nCi-20 mCi)
⁹⁹ Mo	générateur pour l'application en médecine nucléaire (~500 mCi)
¹²⁵ I	sources utilisées en biologie (tests radio-immunologiques, etc.; 1 μ Ci-10 mCi)
¹³¹ I	sources utilisées en médecine nucléaire (1-50 μ Ci) et en radiothérapie (5-150 mCi)
¹³⁷ Cs	sources scellées (voir tabl. 1)
²²⁶ Ra	sources scellées (voir tabl. 1)

Tabl. 2. Radionucléides principaux et leurs conditions d'utilisation

Organes	DMA (rem)
Corps entier	5
Gonades	
Moelle osseuse rouge	
Extrémités	75
Os	30
Glande thyroïde	
Peau	15
Autres organes	

Tabl. 3. Doses annuelles maximales admissibles

³ Le rem est l'unité d'équivalent de dose. La nouvelle unité SI est le Sievert. L'équivalence est la suivante: 1 Sv = 100 rem.

4. Niveaux d'intervention

La grandeur qui permet de mesurer le risque lié à une irradiation est l'équivalent de dose (H), exprimé en rem. Les doses annuelles maximales admissibles (DMA) aux divers organes selon l'ordonnance fédérale sont données au *tableau 3* [7].

Pour caractériser les incorporations, on définit une limite dérivée (I_L) touchant l'activité incorporée (I) et correspondant à la limite de la dose annuelle donnée au *tableau 3* pour l'organe critique (organe le plus exposé).

Les niveaux d'intervention pour le traitement médical après un accident sont précisés au *tableau 4*.

Irradiation externe	
$H < DMA$	- pas d'intervention médicale
$DMA < H < 5 \text{ DMA}$	- information d'urgence du médecin responsable
$5 \text{ DMA} < H$	- déclenchement du plan d'urgence - médecin responsable - annonce à l'hôpital - transport à l'hôpital
Contamination interne	
$I < I_L$	- pas d'intervention médicale
$I_L < I$	- information d'urgence du médecin responsable - mesures de décontamination d'urgence

Tabl. 4. Niveaux d'intervention pour le traitement médical

Les numéros de téléphone des services concernés sont joints au schéma d'intervention. En outre, la réception par l'hôpital est organisée dans le cadre du plan cantonal de catastrophe (ORCA).

5. Méthodes de détermination de l'exposition

L'évaluation de l'exposition des personnes victimes d'un accident s'avère extrêmement délicate. Il faut d'abord procéder à une enquête visant à savoir combien de personnes sont impliquées dans l'accident et si possible la grandeur des doses reçues. En cas de doute, une attitude conservatrice, admettant la situation la plus pessimiste, est à envisager.

En cas d'irradiation externe, le dosimètre personnel de l'individu irradié donne une information très importante et est évalué immédiatement. Le cas échéant, une reconstitution de l'accident est effectuée, cela en particulier pour mesurer la répartition des doses sur la personne.

Mesure prise	Objet de la recherche
Surveillance clinique du syndrome d'irradiation	Temps de latence, prodromes, intervalle libre, syndrome principal
Prises de sang répétées	Evolution de la formule sanguine
Prise de sang: 10 ml, stérilement, envoyé dans un laboratoire spécialisé [8]	Mise en culture des lymphocytes pour recherche d'aberrations chromosomiques

Tabl. 5. Dosimétrie biologique

En cas de contamination interne par un émetteur γ (^{125}I , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{226}Ra) une mesure in vivo est effectuée. Pour une contamination par des émetteurs β (^{90}Sr , ^3H), un échantillon d'urine est soumis à des mesures de scintillation liquide. L'opération est répétée régulièrement.

Afin de compléter les informations souvent lacunaires de la dosimétrie physique, on utilise l'action des radiations sur l'organisme pour juger du niveau de l'irradiation. Cette approche de dosimétrie biologique est présentée au *tableau 5*.

6. Mesures médicales d'urgence

Seule une action concertée entre radiophysicien et médecin permettra une intervention efficace. Le premier donnera toutes les indications utiles touchant à la radioprotection. Le second mettra en route un certain nombre de mesures: assurer la survie de la victime (réanimation), administrer le traitement adéquat pour réduire au maximum l'irradiation, organiser le triage (soins ambulatoires et hospitalisation) et prendre les contacts nécessaires avec l'hôpital.

Dans la situation d'une irradiation externe, il n'y a évidemment pas de moyen d'agir pour réduire l'exposition, puisque l'événement est passé. Rappelons que, dans ce cas, la victime ne présente pas de risque d'irradiation pour son entourage.

S'il y a contamination de la peau et des vêtements, on procédera immédiatement (c'est-à-dire sans attendre le médecin) à une décontamination par douches tièdes avec un détergent approprié (par exemple RBS-25). Entre chaque douche, on mesure l'activité résiduelle.

Radio-nucléide	Médicament	Exemple de posologie
^3H	eau	1-2 l de suite, puis 5-10 l/jour
^{32}P	phosphate de Na et K (250 mg de P par capsule)	2 capsules dans 1 verre d'eau
^{60}Co	D-Pénicillamine (Mercaptyl®Knoll)	0,9 g de suite, répéter après 3 heures
^{90}Sr	a) si ingestion: sulfate de baryum + $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (sel de Glauber) b) si inhalation: alginate de sodium	eau: 250 ml Na_2SO_4 : 0,5 g Ba SO_4 : 100 g 10 g dans 200 ml d'eau distillée, 2 fois par jour
^{99}Mo	sulfate de magnésium	10 g dans 100 ml eau
^{125}I , ^{131}I	iodure de potassium	200 mg de suite p.o. puis 100 mg toutes les 8 heures jusqu'à dose totale de 1 g
^{137}Cs	bleu de Prusse (Radiogardase® Cs Heyl)	6 g de suite, dans 100-200 ml eau puis 0,5 g toutes les 4 heures (3 g/jour)
^{226}Ra	même schéma que pour le ^{90}Sr	

Tabl. 6. Méthodes de décorporation (4, 5, 6)

On évitera de léser la peau, car celle-ci est une excellente barrière contre la pénétration des substances radioactives, sauf pour l'eau tritiée. On évitera aussi une extension de la zone contaminée, notamment au niveau des orifices naturels. En cas de plaie contaminée, il convient de faciliter le saignement et éventuellement de prévoir un traitement plus agressif (débridement chirurgical, chélateur, etc.).

La contamination interne, ou incorporation, peut se faire par inhalation, ingestion ou résorption cutanée. Dans ce cas, les moyens d'intervenir pour restreindre au maximum l'irradiation sont malheureusement assez limités et n'ont une chance d'être efficaces que lorsqu'ils sont appliqués très précocement. Voici ce que l'on utilise: excrétion accélérée (vomissement, laxatif), freinage de la résorption, compétition ou dilution par un isotope stable. Le *tableau 6* présente le schéma thérapeutique choisi dans le cadre de notre intervention.

La mise en route d'un traitement de décorporation est du ressort du médecin qui dispose d'une pharmacie appropriée et adaptera la posologie à des conditions précises. Cependant, étant donné que l'efficacité d'un tel traitement dépend de sa précocité, une pharmacie contenant les médicaments mentionnés dans le *tableau 6*, avec leur mode d'emploi, est également entreposée à l'endroit où le risque d'accident existe, de manière qu'une action puisse déjà être entreprise sur ordre téléphonique.

Quant au traitement chélateur par perfusions d'EDTA ou de DTPA, nous ne jugeons pas qu'il est déjà nécessaire de le commencer sur les lieux de l'accident, mais que cela se fera dans de meilleures conditions en milieu hospitalier.

7. Conclusion

En cas d'accident par radiations ionisantes, seule une excellente collaboration entre radiophysiciens et médecins offre une certaine chance de limiter une irradiation. En cas de contamination de la peau, il est important de procéder à l'élimination des substances radioactives sur le lieu même de l'accident. En cas d'incorporation, les moyens d'agir, quoique réduits, méritent d'être mis en œuvre dans les délais les plus brefs pour obtenir un maximum d'efficacité.

Résumé

Plan d'urgence lors d'accidents avec risque lié aux radiations ionisantes. Collaboration entre la médecine du travail et la radioprotection.

L'exemple du travail dans un institut où des substances radioactives sont manipulées est choisi pour analyser les situations qui pourraient conduire à une irradiation accidentelle. Une description est donnée des mesures urgentes, surtout médicales, qu'il conviendrait de prendre dans une telle situation, de manière à limiter au maximum cette irradiation.

Zusammenfassung

Planung von Massnahmen bei Strahlenunfällen: Zusammenarbeit zwischen Arbeitsmedizin und Strahlenschutz.

Am Beispiel eines Institutes, in dem radioaktive Substanzen behandelt werden, erfolgt die Analyse der Situationen, die zu Strahlenunfällen führen könnten. Medizinische Notfallmassnahmen, die sich in einer solchen Situation aufdrängen und die Strahlenbelastung herabsetzen, werden beschrieben.

Summary

Emergency measures in case of accidental exposure to ionizing radiations: Teamwork between occupational medicine and radiation protection.

The example of an institute where radioactive products are used is given and the risk of accidental exposure to ionizing radiation is assessed. Emergency medical measures are described in case of such an event, in order to reduce as much as possible the exposure.

Bibliographie

- [1] Commission fédérale de la protection contre les radiations: irradiation et dosimétrie des personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession en Suisse durant l'année 1980. 5^e rapport (Office fédéral de la santé publique, Berne 1981).
- [2] International Commission on Radiological Protection. Publication 26: Recommendations of the Internal Commission on Radiological Protection (Pergamon Press, New York 1976).
- [3] International Commission on Radiological Protection. Publication 28: The Principles and General Procedures for Handling Emergency and Accidental Exposures of Workers (Pergamon Press, New York 1977).
- [4] Lincoln, T. A., Importance of initial management of persons internally contaminated with radionuclides, Amer. Ind. Hyg. Assoc. J. 37, 16–21 (1976).
- [5] Möhrle, G., Erste Hilfe bei Strahlenunfällen (Gentner Verlag, Stuttgart 1972).
- [6] Norwood, W. D., Health Protection of Radiation Workers (CC Thomas Publ., Springfield 1975).
- [7] Ordonnance concernant la protection contre les radiations, du 30 juin 1976 (Chancellerie fédérale, Berne 1981).
- [8] Purrott, R. J. et Lloyd, D. C., The study of chromosome aberration yield in human lymphocytes as an indicator of radiation dose, I. Techniques (National Radiological Protection Board NRPB-R2, Harwell 1972).