Article original

Brûlures radiologiques

Physiopathologie, formes cliniques et prise en charge thérapeutique

C.-S. BICH[1], V. GUÉRIF[2], V. DEWOLF[3], A. DUHOUX[4], M. BRACHET[5], P. DUHAMEL[6], É. BEY[7]

(1,2,3,4,5,6,7) Hôpital d'Instruction des Armées Percy, Service de Chirurgie Plastique et Reconstruction, Clamart

Auteur correspondant : bichcs@icloud.com

Open access DOI
10.17184/eac.8640

Reçu
le 9 janvier 2023

Accepté
le 20 décembre 2023

Publié
le 5 juin 2024

Conflit d'intérêt
Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt.

Résumé :
Les brûlures radiologiques sont la conséquence d'une surexposition à un rayonnement ionisant ou bien une contamination externe, même si cela est beaucoup plus rare. Dans les deux cas, elles se manifestent par des lésions chroniques avec un risque de récidives et de récurrences plusieurs années après l'exposition. Dans le cas d'une irradiation, les effets attendus sont liés à la dose et sont donc prédictibles par une bonne connaissance des propriétés biophysiques de la particule irradiante et de la sensibilité variable des tissus irradiés. Le traitement peut être exclusivement chirurgical ou « combiné » c'est-à-dire associant des chirurgies parfois complexes et injections de cellules souches mésenchymateuses autologues.
Dans le cas de la contamination externe, il faut tout d'abord procéder à un lavage et une décontamination des tissus.
Historiquement les brûlures radiologiques survenaient dans les suites d'accidents industriels. Avec la désindustrialisation de nos pays au développement économique élevé, ces accidents sont devenus anecdotiques mais sont encore présents dans les pays émergeants. Actuellement, le plus gros pourvoyeur d'accidents d'irradiation est la iatrogénie médicale : avec l'essor de la radiologie interventionnelle, nous voyons émerger des brûlures radiologiques beaucoup plus fréquemment. En revanche, les lésions dues à la radiothérapie ont fortement diminué.

Mots-clés : Cellules souches mésenchymateuses.
Chirurgie plastique. Irradiation. Radiologie interventionnelle.
Syndrome d'irradiation aiguë. Médecine d'armée.

Abstract:
RADIATION BURNS: PHYSIOPATHOLOGY, CLINICAL FORMS AND THERAPEUTIC MANAGEMENT
Radiation burns result from an exposrue to ionizing radiation or external contamination, even if the latter is relatively rare. In both cases, radiation burns are characterized by chronic lesions of the skin with a risk of recurrence several years after the exposition. Concerning radiation-related burns, the effects are dose-dependent, and can thus be estimated by a sufficient knowledge of the biophysical properties of the radiating particle and the varying sensibility of radiated tissues. Treatment can be exclusively surgical or a combination of surgery and injection of autologous mesenchymal stem cells. For burns related to external contamination, it is first necessary to proceed to wash and decontaminate the radiated tissues. From a historical perspective, radiation burns have been frequently described following industrial accidents. Given the de-industrialization of high-income countries, these accidents have become rare events in these regions of the world but remain prevalent in low- and middle-income countries. Presently, radiation accidents are mainly related to medical iatrogeny. With the development of interventional radiology, recent years have seen an increase in these radiation burns. In contrast, burns related to the use of radiotherapy display decreasing trend.

Keywords: Mesenchymal stem cells. Plastic surgery. Radiation burns. Irradiation. Interventional radiology. Acute radiation syndrome. Military medicine.

Introduction

La brûlure radiologique est secondaire à une surexposition aux rayonnements ionisants le plus souvent par irradiation mais aussi par contamination externe. Cette brûlure radiologique est l'exemple même du syndrome d'irradiation aiguë localisée. Les lésions cutanées et des parties molles qui en résultent sont spécifiques par leur évolution clinique avec des poussées inflammatoires récidivantes ulcéro-nécrotiques qui font le lit de lésions chroniques avec absence de cicatrisation. C'est pourquoi le traitement de ces brûlures est très souvent chirurgical justifiant d'une prise en charge spécialisée.

1 Épidémiologie

Les accidents d'irradiation sont rares. Selon les données de l'AIEA (Agence internationale pour l'énergie atomique) de 1945 à 2000, on recense 420 accidents de surexposition impactant 3 000 personnes avec 133 décès (1). Les étiologies de ces accidents étaient pour la plupart d'origine industrielle (figure 1).

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.2. Menace nuclaire et radiologique*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005427, doi : 10.17184/eac.9782813005427

Depuis les années 2000, on note fort heureusement une diminution de ces accidents, mais le nombre de patients impliqués reste élevé. Actuellement, les causes d'irradiation externe sont essentiellement d'origine médicale.



Fig. 1 : Accidents d'irradiation d'origine industrielle : gammagraphie ©Éric Bey

Cette iatrogénie médicale est essentiellement la conséquence de l'essor de la radiologie interventionnelle dans les pays à revenu économique élevé. Dans le même temps, les lésions dues à la radiothérapie ont considérablement diminué. Les accidents d'irradiation d'origine industrielle ont globalement très fortement diminué avec la désindustrialisation des pays à revenus économiques élevés et la mise en œuvre de moyens de radioprotection mais persistent encore dans les pays à revenus économique faibles et modérés (figure 2) (2,3).

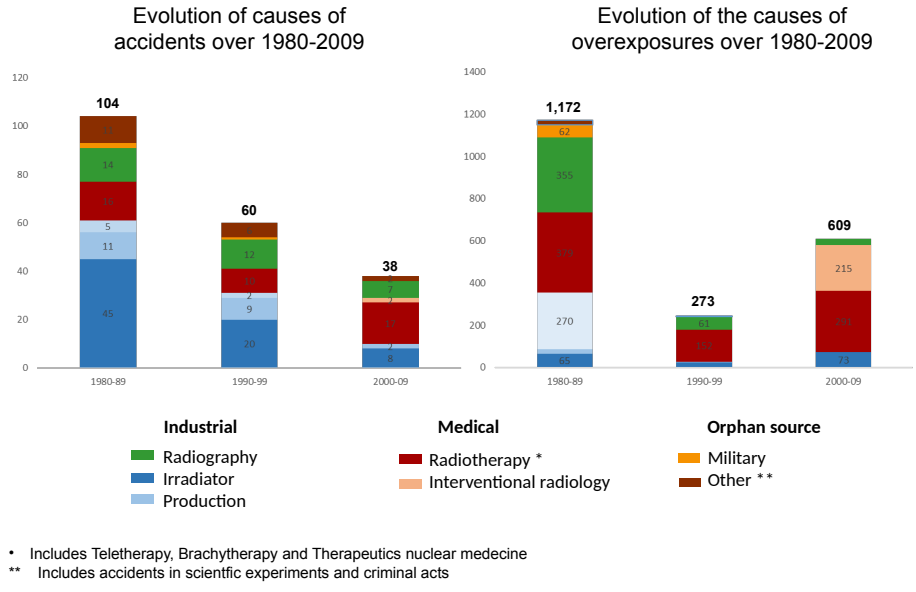


Fig. 2 : Évolution des étiologies de survenue d'accidents d'irradiation de 1980 à 2009
©Pr É. BEY d'après COEYTAUX *et al.* 2015 (2)

La radiologie interventionnelle recouvre l'ensemble des actes médicaux invasifs ayant pour but le diagnostic et/ou le traitement d'une pathologie. Ces actes médicaux invasifs sont réalisés sous guidage et contrôle d'un moyen d'imagerie : la fluoroscopie

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.2. Menace nucleaire et radiologique*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005427, doi : 10.17184/eac.9782813005427

utilisant des rayons X de faible énergie. La radiologie interventionnelle est depuis plus de 15 ans une activité médicale très importante avec plus de 500 000 actes annuels. L'ASN (Autorité de sûreté nucléaire) recensait, entre juillet 2007 et décembre 2013, 18 événements de surexposition avec lésions cutanées (figures 3 et 4). C'est pourquoi, l'HAS (Haute autorité de santé) a publié en 2014 des recommandations : « Réduire le risque d'effets déterministes. Améliorer le suivi des patients en radiologie interventionnelle. Solutions pour la sécurité des patients » (4).



FIG. 3 : Accidents d'irradiation d'origine médicale (radiologie interventionnelle) ©Éric Bey



FIG. 4 : Accident d'irradiation au décours d'une pose défibrillateur triple chambre implantable. La procédure a duré plusieurs heures. a. Lésion chronique évoluant depuis plus de cinq ans après irradiation avec absence de cicatrisation b. Couverture par lambeau ©Éric Bey

2 Rappels biophysiques et physiopathologie

Un rayonnement consiste en une émission d'énergie et/ou un faisceau de particules.

Certains rayonnements sont dit ionisants car ils émettent des « rayons » d'énergies suffisantes pour transformer les atomes qu'ils traversent en ions (un atome qui a perdu ou gagné un ou plusieurs électrons) et donc rendre la matière instable (5).

Un atome instable va spontanément chercher à se stabiliser.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.2. Menace nucleaire et radiologique*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005427, doi : 10.17184/eac.9782813005427

Ce phénomène de stabilisation peut se faire *via* l'émission de deux grands types de rayonnements :

- une émission de photons (rayonnement électromagnétique) : rayonnements X ou Gamma ;
- une émission de particules (aussi appelée rayonnement corpusculaire) comme les rayonnements alpha, bêta, protons et neutrons.

Ces deux grands types de rayonnements ionisants possèdent des caractéristiques différentes :

- Les rayonnements électromagnétiques, d'intensité élevée, sont très pénétrants et responsables des phénomènes d'irradiation externe. Dans ce cas, la dose reçue est liée à la distance à la source, à son activité, à la durée de l'exposition et à la présence d'une éventuelle interface entre la source et l'objet receveur.
- Les rayonnements corpusculaires sont, quant à eux, peu pénétrants et surtout impliqués dans les processus de contamination. Contrairement à l'irradiation qui ne peut être qu'externe, la contamination peut se faire à la fois par voie externe (dépôt sur la peau de particules volatiles après un accident nucléaire, par exemple) et par voie interne (inhalation, ingestion, ou contamination d'une plaie, par exemple).

Ces deux mécanismes distincts impliquent une conduite à tenir très différente en fonction du type d'exposition : on peut et on doit décontaminer, mais on ne peut pas « désirradier » (tableau 1). De même, un patient contaminé peut être contaminant pour le personnel soignant, ce qui explique les protections spécifiques du personnel soignant au CTBRC (Centre de traitement des blessés radiocontaminés) lors de la prise en charge de ces patients.

Tab. 1 : Différences entre irradiation et contamination

Lésions radio-induites – Irradiation et contamination

Mécanisme lésionnel	Irradiation	Contamination
Type de rayonnement	Électromagnétique, photons X et γ	Particules (α, β, protons, neutrons)
Caractéristiques	Forte énergie, toute l'épaisseur de la peau est traversée	Rayonnements faiblement pénétrants, arrêtés par la peau
Voies lésionnelles	Externe	Externe ou interne
Traitement	Chirurgical	Décontamination en urgence
Risques environnementaux	Patient non contaminant	Patient contaminant

Ces rayonnements résultent donc de la désintégration de substances radioactives aussi appelée radioactivité.

Les effets sur l'organisme diffèrent en fonction du type de rayonnement et de la dose reçue. La dose absorbée est exprimée en Gray (Gy) et correspond à l'énergie délivrée par le rayonnement à une unité de masse de l'objet exposé (1 Gray = 1 Joule/Kg). L'importance de la lésion radique est directement corrélée au niveau de dose absorbée.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.2. Menace nucleaire et radiologique*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005427, doi : 10.17184/eac.9782813005427

Les effets biologiques liés à l'exposition aux rayonnement ionisants peuvent être de deux ordres différents : déterministes ou stochastiques (tableau 2).

- Les effets déterministes sont précoces, systématiques et proportionnels à la dose reçue. On décrit des doses seuil au-delà desquelles la symptomatologie est connue et attendue. La brûlure est l'exemple type de ces effets déterministes.

Tab. 2 : Effets biologiques du syndrome d'irradiation localisé et dose seuil

	EFFET	SEUIL (GY)
PEAU	Érythème Épidermite Nécrose	3 12 25
POUMON	Fibrose	8
CRISTALLIN	Cataracte	1
THYROÏDE	Hypothyroïdie	10
GONADE	Stérilité transitoire Stérilité permanente	0,2 5

- À l'inverse, les effets stochastiques surviennent de manière aléatoire, tardivement et indépendamment de la gravité de l'exposition. Néanmoins, la probabilité de survenue augmente avec la dose. On y retrouve principalement les anomalies génétiques acquises et les cancers radio-induits.

3 Présentation clinique

On distingue deux entités nosologiques distinctes après exposition aux rayonnements ionisants, toutes deux proportionnelles à la dose absorbée :

- **Le syndrome d'irradiation aiguë globale** associe des nausées, des vomissements, une hyperthermie, une hypotension à une diarrhée puis est suivi de défaillances médullaires, viscérales et neurovasculaires. La dose pour laquelle on observe 50 % de mortalité après irradiation globale (DL50) est de 5 à 7 Gy.
- **Le syndrome d'irradiation aiguë localisée** est marqué par une atteinte cutanée d'aggravation progressive en fonction de l'importance de l'exposition, allant du simple érythème à partir de 4 à 8 Gy, en passant par l'épidermite exsudative autour des 12 à 20 Gy jusqu'à la radioépidermite nécrotique ou radionécrose pour une dose supérieure ou égale à 25 Gy.

Nous ne nous intéresserons ici qu'au syndrome d'irradiation aiguë localisée. Il est possible d'observer l'association de ces deux syndromes : le syndrome d'irradiation aiguë localisée apparaissant plus tardivement que le syndrome d'irradiation global (6).
Cette brûlure radiologique, manifestation clinique du syndrome d'irradiation aiguë localisée, est caractérisée par une évolution imprévisible : l'extension des lésions se fait à la fois en surface et vers la profondeur. La douleur est intense, résistante aux opiacés, son traitement fait appel aux AINS (anti-inflammatoires non stéroïdiens) ou corticostéroïdes. La cicatrisation est très longue, incertaine, instable dans le temps et

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.2. Menace nucleaire et radiologique*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005427, doi : 10.17184/eac.9782813005427

le plus souvent incomplète. Les récurrences inflammatoires sont fréquentes avec chronicisation des lésions et risque de transformation néoplasique. Il est donc primordial d'assurer un suivi sur le long terme de ces patients tant sur un plan clinique que pour un soutien psychologique. Sur le plan biologique ces récurrences s'accompagnent systématiquement d'une élévation des protéines de l'inflammation en particulier la CRP.

L'exploration de ces lésions peut être faite par IRM, examen non irradiant, permettant d'apprécier l'atteinte des tissus mous en superficie et en profondeur mais aussi les éventuelles atteintes osseuses distinguant les ostéites inflammatoires des ostéoradionécroses. L'ostéoradionécrose signe une dose absorbée à l'os supérieure à 4 Gy.

4 Prise en charge

Comme nous l'avons bien souligné, la cicatrisation spontanée est exceptionnelle et le traitement de ces lésions est très souvent chirurgical.

Nous distinguons dans notre expérience deux types de prise en charge chirurgicale :

- l'une dite classique : chirurgicale exclusive ;

- l'autre dite combinée : chirurgie associée à la thérapie cellulaire adjuvante (2).

Dans les deux cas, le traitement chirurgical consiste en un parage des tissus lésés associé à une chirurgie réparatrice spécifique par lambeau (figure 5). La difficulté de ce traitement repose sur le fait que le parage aggrave les lésions radiques « boostant » les phénomènes inflammatoires nécrotiques conduisant dans certains cas à une impasse thérapeutique avec amputation. Ce phénomène explique pourquoi nous avons développé, depuis près de 20 ans, ce traitement combiné basé sur des travaux de recherches précliniques, confirmant l'intérêt des Cellules stromales mésenchymateuses (CSM) pour leurs actions anti-inflammatoires, antiseptiques et immunomodulatrices pro-cicatrisantes (figure 6). Elles contribuent ainsi à diminuer la réponse inflammatoire et la production de fibrose locale (7) et elles concourent à restituer une organisation collagénique des zones lésées proche de celle du tissu sain (8,9,10).



FIG. 5 : Irradiation gamma, aspect évolutif. a. Lésion initiale en 1997. b. Couverture par greffe de peau en 1997 c. Récidive ulcéro-nécrotique à 20 ans ©Éric Bey

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.2. Menace nuclaire et radiologique*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005427, doi : 10.17184/eac.9782813005427

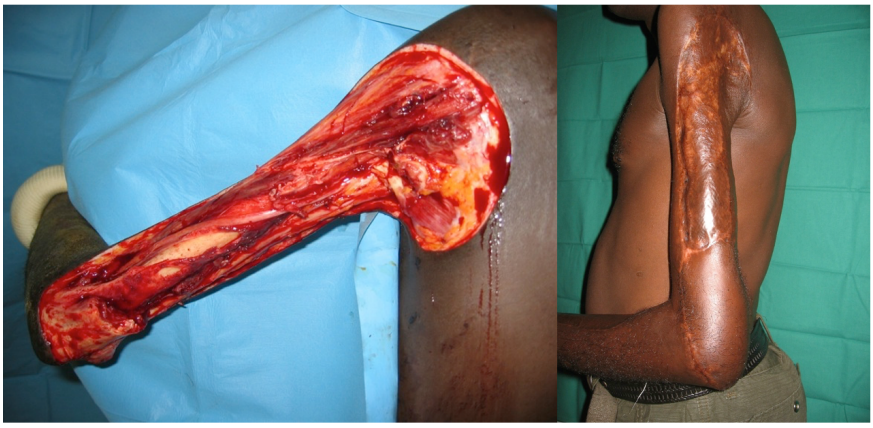


Fig. 6 : Accident d'origine industrielle. a. Parage b. Traitement combiné chirurgie et CSM, suivi à deux ans ©Éric Bey

Cette thérapie cellulaire est un traitement adjuvant qui ne se substitue en aucune façon au traitement chirurgical indispensable. Ce PTC (produit de thérapie cellulaire) est produit à l'UTC (Unité de thérapie cellulaire) au CTSA (Centre de transfusion sanguine des armées). Il s'agit d'une culture de cellules stromales mésenchymateuses produite à partir d'une biopsie ostéomédullaire autologue. Ces CSM sont délivrées au bloc opératoire lors de la chirurgie de couverture pour être injectées *in situ*.
Ces injections sont le plus souvent renouvelées. À partir d'une biopsie ostéomédullaire il est possible de produire deux sets de culture de CSM. Le CTSA a obtenu de l'ANSM (Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé) un agrément pour la production et la délivrance de ce PTC dans cette indication : brûlure par surexposition aux rayonnements ionisants.

Ainsi, on peut dire que la chirurgie apporte la pierre de la reconstruction et la thérapie cellulaire le ciment.

Il convient cependant de préciser les indications et les contre-indications de cette thérapie cellulaire adjuvante.

On distingue deux types de lésions d'irradiation : les lésions aiguës à très haute dose d'origine industrielle et les lésions chroniques à doses plus faibles d'origine médicale.

Les lésions à très hautes doses justifient du traitement combiné précoce. Le traitement chirurgical classique seul peut suffire pour les lésions chroniques à faible dose.

Concernant ces lésions chroniques évoluant depuis plusieurs mois ou années un examen anatomopathologique est indispensable pour éliminer une transformation néoplasique.

Toute pathologie néoplasique intercurrente est une contre-indication aux injections de CSM.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.2. Menace nuclaire et radiologique*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005427, doi : 10.17184/eac.9782813005427

Pour les lésions à très hautes doses, nous recommandons de réaliser trois biopsies afin de produire six sets de CSM. Le financement de ce traitement d'exception n'est pas pris en charge par l'assurance maladie et reste à la charge du patient (figure 7).
En fait, il est à la charge du pays demandeur compte tenu que ces patients nous sont le plus souvent adressés par l'AIEA dans le cadre d'une demande d'assistance internationale. L'HIA Percy bénéficie à ce titre d'une reconnaissance par l'AIEA de centre expert et de référence.

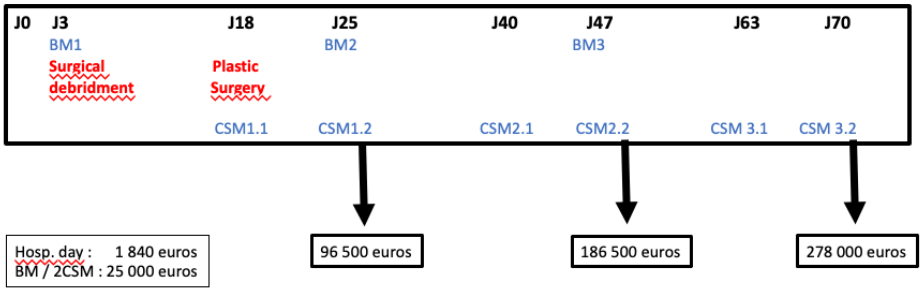


FIG. 7 : Coût d'une prise en charge thérapeutique combinée chirurgie et thérapie cellulaire sous couvert d'une hospitalisation. Ce coût peut être réduit en limitant la durée d'hospitalisation et en réalisant les injections de CSM complémentaires après le traitement chirurgical en ambulatoire. ©Éric Bey

La brûlure radiologique peut aussi être la conséquence d'une contamination externe, accident beaucoup plus rare en temps de paix. La prise en charge consiste en une ou plusieurs décontaminations en urgence par lavage. C'est le mode de prise en charge des blessés radiocontaminés au CTBRC (Centre de traitement des blessés radiocontaminés) par une douche dès l'admission.
Rappelons la nécessité de protection du personnel médical et paramédical pour éviter d'être contaminé par le blessé. Cette décontamination par lavage peut être inefficace en cas de contamination fixée. La contamination fixée résulte d'une effraction cutanée avec fixation des particules radiologiques au sein des tissus avec une inefficacité de la décontamination classique par lavage. La décontamination chirurgicale consiste alors à un parage des tissus cutanés contaminés, au bloc opératoire avec vérification per-opératoire de cette décontamination par compteur de la pièce opératoire. Toutes les techniques chirurgicales peuvent être utilisées pour cette décontamination chirurgicale comme la lipoaspiration lavage lors d'extravasation d'isotopes radioactifs utilisés en médecine nucléaire. La décontamination est le traitement de la contamination externe, elle doit être réalisée le plus rapidement possible (figure 8).

Dans toutes ces situations, des protocoles stricts de radioprotection doivent être mis en œuvre, avec préparation préalable du bloc opératoire et élimination des déchets biologiques contaminés.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.2. Menace nucleaire et radiologique*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005427, doi : 10.17184/eac.9782813005427

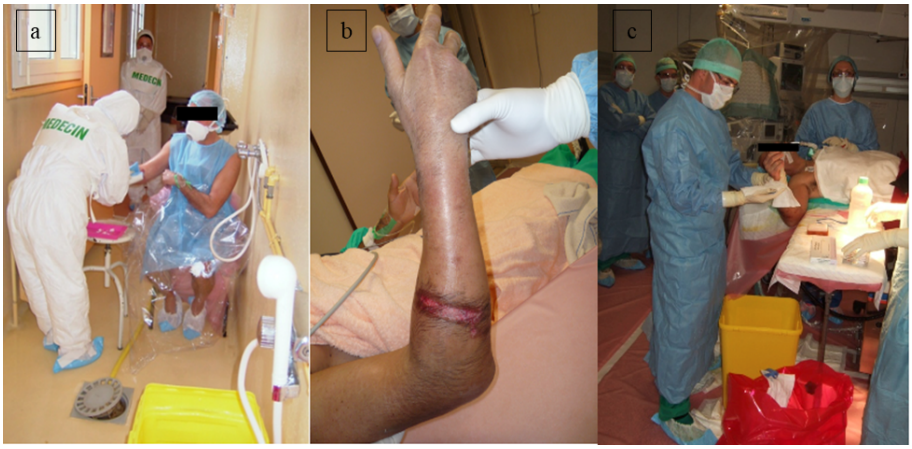


Fig. 8 : a. Décontamination externe b. Contamination fixée par effraction cutanée c. Décontamination chirurgicale avec mise en place des mesures de radioprotection
©Éric Bey

Conclusion

La brûlure radiologique est une entité nosologique particulière, marquée par une chronicité des lésions, avec un risque de récurrences et récidives plusieurs années après l'exposition. En cas d'irradiation, la prise en charge est essentiellement chirurgicale. Nous distinguons le traitement chirurgical classique du traitement chirurgical combiné à la thérapie cellulaire. En cas de contamination externe, la décontamination par lavage doit être réalisée en urgence. Cette décontamination peut être exceptionnellement chirurgicale. La prise en charge de ces patients doit être menée en centre expert. Le CTBRC de la région Île-de-France est localisé sur l'îlot Percy, de même que le Service de protection radiologique des armées (SPRA) et le CTSA. Ce regroupement des différentes spécialités en un lieu unique confère à l'HIA Percy son statut de centre expert et de référence reconnu par L'AIEA. Cette activité s'appuie, par ailleurs, sur une collaboration étroite du Service de santé des armées (SSA) avec l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et l'ASN.

Remerciements

Les auteurs remercient le CTSA, l'IRSN et l'IRBA et le service de chirurgie plastique de l'HIA Percy.

Remerciements à la linguiste relectrice : France Lepez

Contributions des auteurs

Cet article a été rédigé par V. Guérif , C.-S. Bich et É. Bey.
Les photographies ont été réalisées par E. Bey.
L'article a été relu et corrigé par A. Duhoux, M. Brachet, P. Duhamel et V. Dewolf.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.2. Menace nuclaire et radiologique*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005427, doi : 10.17184/eac.9782813005427

Références bibliographiques

1. Agency IAE. Planning the Medical Response to Radiological Accidents. Plan Med Response Radiol Accid [Internet]. 1998 [cité 12 févr 2023] ; Disponible sur : https://www.iaea.org/publications/5137/planning-the-medical-response-to-radiological-accidents
2. Coeytaux K, Bey E, Christensen D, Glassman ES, Murdock B, Doucet C. Reported radiation overexposure accidents worldwide, 1980-2013 : a systematic review. PLoS One. 2015 ;10(3) :e0118709. doi : 10.1371/journal.pone.0118709. PMID : 25789482 ; PMCID : PMC4366065
3. Roudier C, Pirard P, Donadieu J. Incidence des radiodermites secondaires à un geste de radiologie interventionnelle : Résultat d'une étude de faisabilité auprès des dermatologues français adhérents de la Société française de dermatology. Presse Médicale. 2006 ;35(6,Part 1) :955-9.
4. Haute Autorité de Santé. Améliorer le suivi des patients en radiologie interventionnelle et actes radioguidés [Internet]. Saint-Denis La Plaine : HAS ; 2014 juill. Disponible sur : https://www.has-sante.fr/jcms/c_1754223/fr/ameliorer-le-suivi-des-patients-en-radiologie-interventionnelle-et-actes-radioguides
5. IRSN. Qu'est ce qu'un rayonnement ionisant ? [Internet]. [cité 12 févr 2023]. Disponible sur : https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Nucleaire_et_societe/education-radioprotection/bases_radioactivite/Pages/8-rayonnement-ionisant.aspx\#.Y-j8SOzMLDI
6. Monti P. Le syndrome aigu d'irradiation. F6.v1.
7. Horton JA, Hudak KE, Chung EJ, White AO, Scroggins BT, Burkeen JF, *et al.* Mesenchymal stem cells inhibit cutaneous radiation-induced fibrosis by suppressing chronic inflammation. Stem Cells Dayt Ohio. 2013 ;31(10) :2231-41.
8. Linard C, Brachet M, Strup-Perrot C, L'homme B, Busson E, Squiban C, *et al.* Autologous Bone Marrow Mesenchymal Stem Cells Improve the Quality and Stability of Vascularized Flap Surgery of Irradiated Skin in Pigs. Stem Cells Transl Med. 2018 ;7(8) :569-82.
9. Zheng K, Wu W, Yang S, Huang L, Chen J, Gong C, *et al.* Bone marrow mesenchymal stem cell implantation for the treatment of radioactivity-induced acute skin damage in rats. Mol Med Rep. 2015 ;12(5) :7065-71.
10. François S, Mouiseddine M, Mathieu N, Semont A, Monti P, Dudoignon N, *et al.* Human mesenchymal stem cells favour healing of the cutaneous radiation syndrome in a xenogenic transplant model. Ann Hematol. 2007 ;86(1) :1-8.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.50 No.2. Menace nucleaire et radiologique*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005427, doi : 10.17184/eac.9782813005427