

ANNALEN
VAN
DE BELGISCHE VERENIGING
VOOR
STRALINGSBESCHERMING

VOL. 14, N° 3

3e trim. 1989

Driemaandelijkse
periodiek
1050 Brussel 5

Périodique
trimestriel
1050 Bruxelles 5

ANNALES
DE
L'ASSOCIATION BELGE
DE
RADIOPROTECTION

Hoofdredacteur

Dr M.H. FAES
Fazantendreef, 13
2850 Keerbergen.

Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. STIEVENART
14, rue Juliette Wytsmannstraat,
1050 Bruxelles - Brussel

Secrétaire de rédaction

Publikatie van teksten in de Annalen gebeurt onder volledige verantwoordelijkheid van de auteurs.

Nadruk, zelfs gedeeltelijk uit deze teksten, mag enkel met schriftelijke toestemming van de auteurs en van de Redactie.

Les textes publiés dans les Annales le sont sous l'entière responsabilité des auteurs.

Toute reproduction, même partielle, ne se fera qu'avec l'autorisation écrite des auteurs et de la Rédaction.

INHOUD**SOMMAIRE**

- **P. SMEESTERS, M.H. FAES, A. WAMBERSIE**
Urgente maatregelen in geval van accidentele
blootstellingen aan ioniserende stralen 99 - 140
- **M. GHYOOT, F. TONDEUR**
Mesures de radon dans des bâtiments scolaires 141 - 156
- **J.R. CROFT**
The Goiania accident 157 - 176
(uiteenzetting gedaan op 15 december 1989 -
exposé présenté le 15 décembre 1989)

URGENTE MAATREGELEN IN GEVAL VAN ACCIDENTELE BLOOTSTELLINGEN
AAN IONISERENDE STRALEN (1).

SMEESTERS P.

Dienst voor Bescherming tegen Ioniserende Stralingen
Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu
Rijksadministratief Centrum, Vesaliusgebouw
B - 1010 BRUSSEL.

FAES M.H.

Dienst Fysische Geneeskunde
Universitair Ziekenhuis St.-Rafaël
Katholieke Universiteit Leuven
3000 LEUVEN.

WAMBERSIE A.

Laboratoire de Radiobiologie et de Radioprotection
Université Catholique de Louvain, U.C.L. 54-69
Hippokrateslaan 54
1200 BRUSSEL

SAMENVATTING.

Deze tekst heeft als doel geneesheren en apothekers de nodige informatie te bezorgen om doeltreffend tussen te komen in geval van blootstelling aan ioniserende stralen.

Hij begint met een bondige en praktische voorstelling van de dringende medische maatregelen die getroffen worden in aanwezigheid van een persoon die mogelijk aan ioniserende stralen blootgesteld is geweest, zowel langs externe als langs interne weg.

Hij wordt voortgezet met een herhaling en een aanpassing van de essentiële begrippen in verband met de acute en latere effecten van ioniserende stralen. Tot slot komt een herhaling van de beginselen en oriëntatie van de eventuele behandelingen.

(1) Document opgesteld op vraag van de Hoge Gezondheidsraad (Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu), IIIe Sectie, Werkgroep : Bescherming tegen ioniserende stralen. (Voorzitter : Dr. A. Lafontaine). Dit document werd goedgekeurd op de zitting van 25 november 1987, door de Raad, die de publikatie ervan gevraagd heeft.

De gebeurtenissen in verband met de radioactieve neerslag over ons land ten gevolge van het Tjernobyl ongeval hebben de noodzaak getoond geneesheren en apothekers informatie te bezorgen over de rol die zij eventueel te vervullen zouden hebben in geval van accidentele blootstelling (en) zowel in geïsoleerde gevallen als ten gevolge van een min of meer grootschalig kernongeval.

Geneesheren en apothekers kunnen verzocht worden een deskundig advies te bezorgen, maar het is eveneens mogelijk dat er beroep gedaan wordt op de lokale geneesheren om de eerste zorgen toe te dienen.

In dergelijk geval moeten de practici een eerste klinische evaluatie opstellen, dringend de nodige stalen nemen, de eerste behandeling instellen en indien nodig de patiënten naar gespecialiseerde centra verwijzen.

Deze nota wordt opgesteld met het doel geneesheren en apothekers de nodige praktische richtlijnen te bezorgen om in geval van accidentele blootstelling doeltreffend te kunnen ingrijpen.

Zij bevat twee delen :

1. een samenvatting van de dringende medische hulp in geval van vermoedelijke bestraling en/of besmetting ;
2. een samenvatting van de acute en late effecten van ioniserende stralen en hun behandeling.

In bijlage wordt een tabel bezorgd met de verklaring van de in de radiobiologie meest gebruikte eenheden en met een praktisch gerichte bibliografie.

EERSTE DEEL.

URGENTIEMAATREGELEN TE TREFFEN BIJ EEN PERSOON MOGELIJK
AAN IONISERENDE STRALINGEN BLOOTGESTELD : PRAKTISCHE SAMENVATTING.

1. Steeds prioriteit geven aan vitale urgenties zoals bloeding, schoktoestand, verstikking, cardio-vasculaire stoornissen, fracturen, enz.

2. Indien men een radioactieve besmetting vermoedt (zie fig. 1) :
 - klederen laten wegnemen en in een gesloten plasticzak opbergen, stortbad laten nemen en zuivere kledij bezorgen ;

 - een wrijfstaal nemen ter hoogte van neus en mond (om radioactieve besmetting op te sporen) ;

 - de hieronder (punt 3) voorziene maatregelen treffen ;

 - later : naar een gespecialiseerd centrum verwijzen voor meting van mogelijke inwendige besmetting.*

* De anthropogammameter, of whole-body-counter, is een toestel dat toelaat radioactieve besmettingen te meten, zelfs in zeer lage hoeveelheden.

3. Zo snel mogelijk :

- inlichtingen verzamelen over de aard van de installatie en van het ongeval ;
- de aanwezigheid en juiste tijd bepalen van het zich voordoen van eventuele klinische symptomen zoals misselijkheid, braken, tekens van schok, huiderytheem en neurologische stoornissen (neerslachtigheid, overprikkelbaarheid, ataxie, bevingen,...) ;
- bloedstaal nemen voor compleet hematologisch onderzoek en in het bijzonder voor lymphocietentelling (om de drie uren de eerste dag en 3 x per dag de volgende dagen) ;
- urines en stoelgangen (volledig indien mogelijk) verzamelen en in koelkast bewaren (voor analyse en opsporing van besmetting).

4. In geval van braken :

- inspuiting van :
 - a) 1 of 2 I.M. of I.V. ampullen domperidone (bv. Motilium) of metoclopramide (bv. Primperan) ;
 - b) 1 of 2 mg lorazepam (bv. Temesta) langzaam I.V. of 10 mg diazepam (bv. Valium) of een ander benzodiazepine derivaat I.M. toedienen ;
- rust en kalme verzekeren, geruststellen.

5. Al naargelang de kontekst, de informatie volgen die langs radio of T.V. bezorgd wordt (bv. belangrijk kernongeval).

6. Klinische en biologische benadering van de dosis :

6.1. De geneesheer die dringend moet tussenkomen bij een accidentele bestraling beschikt zelden over de dosimetrische gegevens die hem (op een ideale manier) in staat zouden stellen een prognose op te maken en eventueel de gepaste behandeling in te zetten. Hij is er dus dikwijls toe gedwongen enkel op de klinische symptomatologie en de biologische onderzoeken te steunen om de ontvangen dosis te schatten.

6.2. Men schat dat de DL 50 dosis (letale dosis in 50 % van de gevallen) bij de mens rond 3,5 Gy (350 rad) ligt. Overlijdens zijn zeldzaam onder de 2 Gy (200 rad). Mortaliteit is quasi totaal boven 6-7 Gy (boven 700 rad).

De DL 50 kan in sommige omstandigheden lager liggen in het bijzonder wanneer bestraling gepaard gaat met ernstige brandwonden.

De hierna beschreven symptomatologie is die van een totale bestraling.

6.3. Schatting van de dosis volgens aanwezigheid en snelheid van het opkomen van misselijkheid en braken : tabel I als leidraad nemen met inachtneming van de mogelijkheid van spijsverteringsstoornissen van psychische oorsprong.

6.4. Schatting van de dosis volgens omvang en snelheid van de daling van de bloedlymphocieten : tabel I en figuur 2 als leidraad nemen rekening houdend met een gemiddelde waarde van 2.500 lympho's per mm³ met schommelingen tussen 1500 en 4000 per mm³.

6.5. Schatting van de dosis volgens aanwezigheid van huiderytheem : deze is van voorbijgaande aard en komt enkel voor bij dosissen van 5 Gy (500 rad).

6.6. Schatting van de dosis volgens aanwezigheid van neurologische stoornissen (neerslachtigheid, overprikkelbaarheid, ataxie, bevingen) : hier mag men vrezen voor zeer hoge dosissen (meer dan 10 Gy i.e. 1.000 rad).

7. Therapeutische houding :

- Indien klinische tekens of het lymphocietenaantal een dosis hoger dan 1 Gy (100 rad) laten vermoeden, moet de zieke naar een gespecialiseerd centrum verwezen worden.
- Indien dit niet het geval is, geruststellen en de klinische toestand en het lymphocietenaantal verder volgen ; informeren naar mogelijke zwangerschap.

8. Bijzondere gevallen :

8.1. Vermoedens van inwendige besmetting met radioactief Jodium : zo vlug mogelijk stabiel Jodium toedienen om de schildklier tot saturatie te brengen.

De posologie is 100 mg Jodium per dag gedurende 10 en zelfs 15 dagen ; deze dosis wordt gehalveerd voor kinderen minder dan 1 jaar oud.

Men gebruike capsules met een inhoud van 100 mg Jodium, hetzij 130 mg kalium jodide of 160 mg kalium jodaat.

Bij gebrek kan men gebruik maken van Lugol of Joodtinctuur onder vorm van druppels in een glas melk.

1 ml Lugol (waterige oplossing), dit is 20 druppels met officinale druppelteller, bevat ongeveer 100 mg totaal Jodium (Jodium en kalium jodide).

1 ml Joodtinctuur (alcoholische oplossing), dit is 60 druppels met officinale druppelteller, bevat eveneens ongeveer 100 mg totaal Jodium (Jodium en kalium Jodide).

Bij een accidentele besmetting mag Jodium toegediend worden aan zwangere vrouwen en aan personen met struma.

Voorzichtigheid is geboden in gevallen van Jodium idiosyncrasie en van bepaalde systemische aandoeningen (vasculitis met verlaagd complement).

Bij een kernongeval zal men de door de openbare overheid gegeven richtlijnen volgen, in het bijzonder voor wat betreft de tijdsduur van de Jodium profylaxis.

Bij een geïsoleerde accidentele besmetting zal men de patiënt naar een gespecialiseerd centrum verwijzen voor evaluatie van de schildklierbesmetting en voor verdere behandeling.

8.2. Vermoedens van een belangrijke inwendige besmetting door een andere radionuclide dan radioactief Jodium :

Behalve bij beroepshalve blootgestelde personen is dit eerder zeldzaam : niet trachten zelf te behandelen maar dringend naar een gespecialiseerd centrum verwijzen voor evaluatie van de besmetting en behandeling.

8.3. Vermoedens van neutronen-blootstelling :

Dit is zeer zeldzaam (bv. arbeiders rond een cyclotron). Alle voorwerpen uit metaal verzamelen (uurwerk bv.) schriftelijk hun preciese localisatie op het lichaam noteren (voor dosimetrische berekeningen) en naar gespecialiseerd centrum verwijzen.

8.4. Bestraling van het gelaat :

Naar gespecialiseerd centrum verwijzen na, gezien het risico op een uitgestelde (na meerdere dagen) zeer pijnlijke conjunctivitis, de ogen preventief met een collyrium op basis van een cortisonederivaat gepaard met een antibioticum (bv. Maxitrol, Deicol), behandeld te hebben.

8.5. Gedeeltelijke bestraling :

Treft vaak de handen. De patiënt zal het niet noodzakelijk onmiddellijk waarnemen daar dit effect pas later zichtbaar wordt.

Zo zal de klinische symptomatologie, na enkele weken, naargelang de dosis, wijzen op desquamatie (eczematisch uitzicht), phlyctenen, epilatatie of ulceratie (radionecrose).

In de anamnese kan soms een voorbijgaand huiderytheem vastgesteld worden.

Naar gespecialiseerd centrum verwijzen.

TWEDE DEEL.

HERHALING VAN ENKELE PATHOLOGISCHE BEGRIPPEN
IN VERBAND MET BLOOTSTELLING AAN IONISERENDE STRALEN.

THERAPEUTISCHE ORIENTATIES.

I. ALGEMEENHEDEN

Bestralingsongevallen kunnen van verschillende aard zijn.

Meestal gaat het om arbeidsongevallen die het personeel treffen van de kernindustrie of het personeel tewerkgesteld in installaties waar radioactieve stoffen of apparatuur gemanipuleerd worden, die de oorzaak kunnen zijn van accidentele bestraling of besmetting (ziekenhuizen, laboratoria, industriële radiografie, enz...).

Er kan zich een min of meer zwaar kernongeval voordoen, waardoor uitgestrekte gebieden, verspreid over verschillende landen, zoals in Tchernobyl, kunnen getroffen worden.

Steeds zal een onderscheid moeten gemaakt worden tussen uitwendige bestralingen met blootstelling van gans het lichaam of een deel ervan aan X-stralen, betas, gammas of neutronen, en de uitwendige of inwendige besmettingen.

Uitwendige besmettingen kunnen zich voordoen op intacte of gekwetste huid.

Inwendige besmettingen zijn het resultaat van inhalatie, ingestie of injectie van radioactieve stoffen (zie fig. 1).

De ernst van een ongeval met uitwendige blootstelling is essentieel afhankelijk van de ontvangen dosis en van het getroffen lichaamsgedeelte.

Het gevaar verbonden aan een uitwendige of inwendige besmetting is eveneens afhankelijk van de dosis en van het getroffen lichaamsgedeelte, maar ook afhankelijk van de aard en de hoeveelheid van de betrokken radionucliden.

(radiotoxiciteit, halveringstijd, type stralen, metabolische evolutie).

II. EFFECTEN VAN EEN ACCIDENTELE BESTRALING

De effecten van ioniserende stralen kunnen gerangschikt worden volgens verschillende criteria : acute of late effecten naargelang zij voorkomen na dagen/weken of maanden/jaren na de blootstelling, somatische of genetische effecten naargelang zij de bestraalde persoon of zijn afstammelingen treffen, stochastische of niet stochastische effecten.

A. Vroegtijdige effecten na hoge dosis

Het gaat hier om effecten die meestal naargelang de aard van het effect binnen enkele uren, dagen of weken na blootstelling voorkomen.

Alle bestraalde personen vertonen deze effecten vanaf een dosisdrempel die verschillend is naargelang de persoon, en de aard van het effect.

De frekwentie en de intensiteit van deze effecten stijgen met de dosis.

Omwillle van de duidelijkheid onderscheiden wij achtereenvolgens verschillende beelden : eerst de acute stralingsziekte, daarna de stralengeïnduceerde brandwonden en tenslotte de besmettingen.

In de praktijk lopen deze beelden door elkaar.

1. De acute syndromen.

Deze syndromen zijn het gevolg van een ernstige bestraling van gans het lichaam bij hoge dosissen.

Zij getuigen van een diepe aantasting van de meest stralingsgevoelige weefsels.

Bij een dosis van 50 Gy (5.000 rad) en meer, wordt het centraal zenuwstelsel getroffen.

De patiënten klagen over een gevoel van veralgemeende verbranding en van parestesieën.

Na een voorbijgaande excitatietoestand die tot stuipen kan uitlopen, vallen zij al vlug in coma en sterven binnen de 48 tot 72 uren.

Dit syndroom kan reeds na een dosis van 10 Gy (1.000 rad) verschijnen.

Dit wijst op een fulminante encephalitis.

Bij minder ernstige bestralingen bestaat het ziektebeeld essentieel uit letsels aan het hematopoïëtisch systeem en aan het darmslijmvlies.

Het prodromaal syndroom treedt enkele uren na blootstelling op onder vorm van algemene malaise, anorexie, misselijkheid en braken.

Hier dient gemeld dat stress op zichzelf deze symptomatologie kan veroorzaken.

Deze eerst fase wordt gevolgd door een schijnbare remissie waarvan de tijdsduur, enkele dagen, korter is naargelang de opgelopen dosis hoger

1177

De volgende fase die bij dosissen hoger dan 6 Gy (600 rad) voorkomt wordt gekenmerkt door de afbraak van de darmmucosa, waardoor vocht- en bloedverlies ontstaat, gevolgd door resorptie van in de darmen aanwezige bacteriën en toxines.

Dit is het intestinaal syndroom.

Dit syndroom, gekenmerkt door een hoge mortaliteit, loopt over een kritische periode van dag 5 tot 14 na de blootstelling.

De gastro-intestinale stoornissen worden gevolgd door het beenmergsyndroom dat even later optreedt en gekenmerkt wordt door infecties en bloedingen.

Inderdaad, bestraling heeft bijna geen effect op de bloedlichamen (behalve de lymfocieten) en op de onmiddellijke precursoren, maar treft wel de hemopoëtische stamcellen die tot de meest stralingsgevoelige elementen horen. De lymfhoedeorganen zijn eveneens zwaar getroffen waardoor de immune verdediging afneemt.

Het uitgesteld verschijnen van het medullair syndroom is te wijten aan de levensduur van de leucocieten en bloedplaatjes en van hun onmiddellijke precursoren die in het beenmerg hun maturatie ondergaan.

Het hematopoiëtisch systeem wordt des te meer getroffen naargelang de dosis hoger ligt.

De dood wordt veroorzaakt door infecties of bloeding met een critische periode gelegen tussen de 4e en 6e week (zie fig. 3).

Zonder behandeling en bij afwezigheid van andere letsels situeert zich de DL 50 (dosis die de dood veroorzaakt van 50 % van bestraalde personen) rond 3,5 Gy (350 rad).

Alhoewel bloedafwijkingen reeds aanwezig zijn bij een dosis van 1 Gy (100 rad) zijn de overlijdens zeldzaam onder 2 Gy (200 rad) : ze komen voor bij individuen die gevoeliger zijn dan het gemiddelde (ouderdom, intercurrente ziekten, zware verbrandingen, erfelijke predispositie,...).

De voor de mens aanvaardbare dosis limiet ligt rond 7 Gy zonder medische tussenkomst.

Met intensieve zorgen en beenmergtransplantatie zouden enkele mensen een dosis van 12 Gy kunnen overleven.

2. Radiodermatitis (huidverbrandingen) ten gevolge van bestraling.

Bij een kernongeval zoals in Tchernobyl kan een aanzienlijke hoeveelheid betastralen voortbrengende nucliden vrijkomen.

De betastralen (of elektronen) worden gekenmerkt door een gering penetratievermogen in de weefsels (enkele millimeters) ; zij bestralen dus selectief de huid en de onderhuidweefsels (zie figuur 4).

Het risico voor radiodermatitis is dus zeer groot, zoals werd aangetoond door de ernstige verbrandingen opgelopen door de leden van de interventieploeg in Tchernobyl.

Radiodermatitis kan eveneens veroorzaakt worden door X-stralen (enkele tientallen kV) of electronenbundels (lineaire versnellers) die zoals de betastralen een beperkt penetratievermogen hebben en die aldus de huid selectief bestralen.

De gammastralen daarentegen zullen verder doordringen en de dieper gelegen weefsels treffen, de huidbestraling zal hier klinisch minder belangrijk zijn.

Bij blootstelling van de huid aan enkele Gy zal men na 2-3 uren een erytheem met warmtegevoel waarnemen in het bestraalde oppervlak. Dit erytheem is van voorbijgaande aard (enkele uren) en kan zelfs onopgemerkt voorbijgaan.

Na een latentieperiode van een tiental dagen ontstaat een permanent erytheem dat het uitzicht heeft van een thermische verbranding.

De radiodermatitis zal tot het stadium van huiderytheem beperkt blijven zolang de dosis niet enkele Gy overschrijdt.

Bij dosissen hoger dan 10-15 Gy, zal men na 2-3 weken een ulceratie waarnemen. Dit uitstel wordt verklaard door de selectieve destructie van de basale cellen die aldus de opperhuid niet kunnen hernieuwen ; de transitietijd van de keratinocyten bedraagt inderdaad 2 tot 3 weken.

De bestraling kan eveneens de haarfollikulen en de zweetklieren treffen.

Voorbijgaande epilatie ontstaat boven 3 tot 4 Gy ; zij wordt waargenomen na 2-3 weken. Boven 7 Gy is epilatie irreversibel.

De bestraling van onderhuidsbindweefsel (haarvaten endotheel, fibroblasten) kan gevolgd worden door subcutane sclerose na enkele maanden en in extreme gevallen door een laattijdige radionecrose (nl. maanden, jaren).

Observatie van de leden van de interventieploeg van Tchernobyl heeft aangetoond dat de door betastralen veroorzaakte radiodermatitis bijzonder ernstig kan worden bij personen waarvan de verdedigingsmechanismen (leucocyten, immunologie) door een bijkomende gammabestraling neergedrukt zijn.

Radiodermatitis verschijnt en evolueert volgens een karakteristieke chronologie waardoor zij zich onderscheidt van thermische brandwonden die onmiddellijk waargenomen worden.

3. Bijzondere gevallen : besmettingen

Naast de gedeeltelijke of algemene bestraling kan uitwendige of inwendige besmetting door radioactieve stoffen plaatsvinden (zie fig. 1).

De huid kan oppervlakkig besmet worden door stofdeeltjes, vloeistoffen of radioactieve gassen.

Via beschadigde huid kan een inwendige besmetting ontstaan door min of meer diepe penetratie en resorptie.

Het effect van een radioactief contaminant op de huid is afhankelijk van de aard van de stralingen.

De alfa deeltjes hebben een geringe penetratie in de diepere lagen van de huid.

Er moet dus vermeden worden dat zij de diepere inwendige organen bereiken of dat zij accidenteel in dieper gelegen weefsels terecht komen.

De betastralen hebben een penetratievermogen tot in de diepere huidlagen waar zij beschadigingen aanbrengen in overeenstemming met hun energie.

Een belangrijke besmetting van de huid veroorzaakt een bestraling van het besmette oppervlak met gevolgen zoals hoger beschreven.

Inwendige besmettingen ontstaan na inhalatie of ingestie van radioactieve stoffen of na penetratie langs de al dan niet beschadigde huid (tritium, jodiumverbindingen).

Een inwendige besmetting die voldoende ernstig is om een acute stralenziekte te veroorzaken is een eerder zeldzame gebeurtenis.

Een belangrijke inwendige longbesmetting kan leiden tot stralen geïnduceerde pneumonitis met daaropvolgende longfibrose ; het risico voor stralen geïnduceerde longkanker verhoogt daardoor significant.

Omwille van de selectieve ophoping van radiojodium in de schildklier wordt dit orgaan bijzonder bedreigd bij een ongeval.

Effekten zoals hypothyroidie komen nochtans pas te voorschijn bij dosissen aan de schildklier die hoger liggen dan 10 Gy (1.000 rad).

Er is een dosis van 300 Gy (30.000 rad) nodig om de schildklier te vernietigen.

In geval van inwendige besmetting moet men rekening houden met bepaalde eigenschappen van de betrokken nuclide, zoals haar activiteit, de organen waar zij zich opstapelt, haar fysische en biologische halveringstijd, de aard en energie van de uitgezonden stralen en haar metabolisme.

Er moet dus gezocht worden naar de ingangspoort van de nuclide (huid, slijmvlies, gastrointestinale en ademhalingswegen, wonden), de mogelijkheden aan mobilisatie langs bloed en lymfe, naar het orgaan waar neerzetting en opstapeling kunnen gebeuren en tenslotte naar de epuratie- en clearance-eigenschappen.

4. Combinatie van klinische beelden

Volgens de informatie bezorgd door de sovjet-deskundigen zou men bij de slachtoffers van Tchernobyl twee golven van overlijdens waargenomen hebben : namelijk een reeks van zes overlijdens in de loop van de tweede week gevolgd door een reeks overlijdens na ongeveer 1 maand.

Dit zou overeenkomen met respectievelijk het gastrointestinaal en het medullair syndroom zoals hoger beschreven.

Een zeker aantal overlijdens zou weliswaar het gevolg kunnen geweest zijn van diepe en omvangrijke brandwonden.

Het zou wel te schematisch zijn, om in de realiteit, elk syndroom afzonderlijk te beschouwen. Zo wordt de ernst van het gastro-intestinaal syndroom verhoogd wanneer het bijkomend medullair syndroom begint.

Anderzijds, zoals hoger vermeld, genezen huidverbrandingen ten gevolge van blootstelling aan beta-stralen redelijk vlot maar onder de slachtoffers van Tchernobyl zijn er meerdere bezweken aan thermische verbrandingen en radiodermatitis, waarvan de prognose ongunstig beïnvloed wordt door de leucopenie en de immuniteitsdepressie veroorzaakt door de bijkomende gammabestraling.

B. Effekten op lange termijn

De belangrijkste effekten op lange termijn van een bestraling zijn enerzijds een verhoging van het "spontaan" aantal kankergevallen en anderzijds een verhoging van de frekwentie van erfelijke aandoeningen (genetisch risico)*.

B.1. Cancerogenese

Er dient een onderscheid gemaakt te worden tussen enerzijds de bevindingen na hoge dosis blootstellingen en anderzijds de hypothesen vooropgesteld in de extrapolatie naar kleinere dosissen.

B.1.1. Hoge dosissen gebied.

Men weet dat een hoge dosis stralen (enkele tienden Sievert of enkele tientallen rems) het aantal "spontane" kankers verhoogt.

Door stralen veroorzaakte kankers werden bijna in alle organen vastgesteld, weliswaar met een verschillende frekwentie en in verschillende dosisbereiken. De latentietijden kunnen eveneens zeer verschillend zijn.

Daar waar een stralen geïnduceerde leukemie 3 tot 15 jaar na blootstelling kan tevoorschijn komen, kunnen andere straling-geïnduceerde kankers zich na 30 of 40 jaar manifesteren (bv. rectum, pancreas).

* Het risico voor cancerogenese en het genetisch risico zijn stochastische effecten (zie tabel III).

Zij worden onderscheiden van de niet stochastische effecten (reeds hoger beschreven) bv. medullair syndroom, intestinaal syndroom, huidverbrandingen,...

Binnen het bereik van de hoge dosissen bestaat er geen discussie over het cancerogeen effect van ioniserende stralen, dat vast staat, maar wel over de kwantitatieve evaluatie van risicocoëfficiënten d.w.z. het aantal straling-geïnduceerde kankergevallen per dosiseenheid (per Sievert of honderdtal rem).

Evaluaties werden voorgesteld door verschillende internationale of nationale organismen : de International Commission on Radiological Protection (ICRP), de Wereld Gezondheidsorganisatie (WGO), het Internationaal Agentschap voor Atoomenergie (I.A.E.A.), het United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) enz... Deze organismen zijn het eens om aan te nemen dat voor duizend personen, totaal blootgesteld aan een dosis van 1 Sievert (100 rem), men volgende stralingseffecten mag verwachten :

- twee leukemieën,
- een tiental andere kankers (vaste gezwellen),
- hetzij een totaal van 12 kankergevallen.

Deze risicocoëfficiënten zijn grootorders en schommelingen met een factor 2 kunnen naargelang de omstandigheden waargenomen worden (kenmerken van de bestraling, bestraalde populatie,...).

Anderzijds staan deze evaluaties in verband met letaliteit door kankergevallen : in het totaal zouden er tweemaal meer straling-geïnduceerde kankers zijn.

Het aantal straling-geïnduceerde schildklierkankers zou tienmaal hoger liggen : De stralen-geïnduceerde kankers van de schildklier zijn inderdaad geneesbaar (heelkundig) in 90 % van de gevallen.

Deze getallen moeten vergeleken worden met het aantal "spontane" kankers dat rond de 200 tot 250 per duizend personen ligt.

B.1.2. Lage Dosissen gebied.

Het cancerogeen effect van lage dosissen ioniserende stralen (enkele honderdsten Sievert of enkele rems) werd nooit duidelijk bewezen. Enkele epidemiologische studies hebben een cancerogeen effect gesuggereerd voor bepaalde types van kanker (borst, schildklier, leukemie na blootstelling in utero...), maar de resultaten laten niet toe definitieve conclusies te trekken. De reden hiervoor is dat het aantal stralen-geïnduceerde kankers dat men tracht op de voorgrond te stellen, zeer laag ligt in verhouding met het aantal "spontane" kankers. Daarom is men verplicht de gegevens in verband met hoge dosissen naar de lage dosissen te extrapoleren.

De extrapolatie kan op verschillende wijzen gebeuren. De lineaire extrapolatie zonder drempel is de eenvoudigste hypothese, maar zij leidt tot de meest pessimistische conclusies.

Zij veronderstelt dat het risico in verhouding staat met de dosis. Aldus wordt aangenomen dat het risico voor cancerogenese voor een dosis van 0,01 Sv (1 rem) honderd maal lager ligt dan voor een dosis van 1 Sv (100 rem) of nog dat het aantal straling-geïnduceerde kankers in een groep van één miljoen mensen bestraald met 0,01 Sv (1 rem) gelijk staat met het aantal verwacht in een groep van 10 miljoen mensen bestraald met 1 mSv (0,1 rem).

Deze hypothese levert dus de bovenste grens van het risico.

Andere hypothesen veronderstellen het bestaan van een drempel waaronder het risico praktisch nul is.

De lineair kwadratische relatie die veronderstelt dat voor lage dosissen het risico klein is zonder noodzakelijk nul te zijn en verder stijgt met de dosis, wordt meestal weerhouden.

De relatie dosis-effect zou tenslotte over verschillende krommen lopen naargelang de aard van de stralen en het type kanker.

B.2. Genetisch risico *

Net zoals het risico voor kankerinductie moet het genetisch risico vergeleken worden met de "spontane" incidentie van congenitale afwijkingen. Hun frequentie wordt door UNSCEAR geraamd op 6 % (8) (de uiteenlopende getallen die in de literatuur voorkomen weerspiegelen gedeeltelijk de verschillen in de aard en ernst van de weerhouden afwijkingen : zichtbare malformaties, erfelijke aandoeningen,...).

Het genetisch risico wordt meestal geschat op een derde van het kanker-risico (een congenitale afwijking voor drie stralengeïnduceerde kankers).

Een andere wijze om dit risico te schatten is de aanduiding van de verdubbeldende dosis, dit is de dosis die de "spontane" prevalentie verdubbelt.

De verdubbeldende dosis wordt geschat op 1 Gy (continue bestraling van de ouders).

Het is geruststellend dat men geen stijging van congenitale afwijkingen waargenomen heeft bij de afstammelingen van de Japanse bevolking die in Hiroshima en Nagasaki bestraald werd (twee generaties werden reeds onderzocht).

C. Bestraling in utero.

Het risico verbonden aan een bestraling in utero is in grote mate afhankelijk van het ogenblik van de blootstelling.

Gedurende de pre-implantatie periode (0-2 weken na conceptie) is het belangrijkste effect van een bestraling de dood van het embryo, zodra de dosis enkele tienden Sv (enkele tientallen rem) overschrijdt.

Geen enkele congenitale misvorming werd waargenomen onder 0,2 Sv (20 rem) en men mag aannemen dat het risico quasi nul is onder 0,1 Sv (10 rem).

* Het genetisch risico wordt beschreven als het risico voor stijging in het aantal congenitale afwijkingen die resulteren uit de bestraling van de ouders.

Er dient een onderscheid gemaakt met het risico van bestraling van het embryo in utero waardoor eveneens congenitale malformaties kunnen veroorzaakt worden (zie verder).

Daartegen werden ernstige mentale achterstanden waargenomen bij de embryos die bestraald werden tussen de 8e en 15e week na bevruchting in Hiroshima en Nagasaki.

Het risico kan hier geschat worden op 40 % per Sv (100 rem) met een relatie incidentie-dosis blijkbaar lineair zonder drempel. Deze periode komt overeen met het ogenblik waarop de proliferatie en migratie van de neuronen in de cortex het meest actief zijn.

De incidentie van mentale achterstand ligt 4 maal lager bij bestraling tussen de 16e en 25e week, wanneer de bindweefsels zich in de hersens ontwikkelen en wanneer de verbindingen tussen de neuronen zich vastleggen.

Het is mogelijk dat naast deze ernstige mentale achterstanden (onbekwaamheid te leren lezen of schrijven) andere minder duidelijke functionele cerebrale afwijkingen te vrezzen zijn.

Het risico voor cancerogenese * na bestraling in utero (kankers die tijdens de jeugd jaren te voorschijn komen) is van dezelfde grootorde als dat na bestraling van het jonge kind ; men kan het schatten op ongeveer het dubbel van het risico bij de volwassene.

Een schatting van het globaal risico van bestraling in utero (congenitale malformaties, mentale achterstand, kankerinductie en leukemie) werd onlangs voorgesteld door UNSCEAR.

Het globaal risico zou lager dan 0,2 % zijn voor een dosis van 0,01 Sv (1 rem) bij een levendgeboren kind.

Dit getal moet vergeleken worden met het "spontane" voorkomen van congenitale malformaties dat rond 6 % ligt (zie hoger).

III. EVALUATIE VAN DE ONTVANGEN DOSIS - BIOLOGISCHE DOSIMETRIE.

De evaluatie van de ontvangen dosis is de essentiële schakel in de beoordeling van de ernst van een ongeval en schade aan de gezondheid.

Zij bepaalt het in werking stellen van beschermingsmaatregelen en medische behandelingen.

* Cancerogenese is een stochastisch verschijnsel. Als ander stochastisch verschijnsel werden eveneens somatische mutaties in het embryo beschreven (bv. pigmentaire mozaïken).

Naast de fysische dosimetrie op de plaats van het ongeval, met metingen die soms onnauwkeurig en alleszins delikaat en laattijdig zijn, zullen de klinische symptomatologie enerzijds en de laboratorium onderzoeken anderzijds een evaluatie van de ontvangen dosis mogelijk maken.

A. Klinische symptomen.

De termijn van ontstaan, de intensiteit en de duur van de symptomen (misselijkheid, braken, huiderytheem, neurologische tekens ...) laten een benadering toe van de ernst van de bestraling.

Praktische richtlijnen worden in het eerste deel van dit dokument voorgesteld.

B. Klinische biologie.

Daar het hematopoiëtisch systeem het meest gevoelig is voor bestraling zal men zeer snel afwijkingen in het perifere bloed waarnemen.

B.1. Daling van de lymphocieten.

Binnen de uren na het ongeval zal het aantal lymphocieten dalen in verhouding met de ontvangen dosis.

Indien het aantal lymphocieten per mm^3 beneden 1000 valt binnen de 24 uren is de toestand ernstig (zie eerste deel van dit document). Men zal dus herhaaldelijk het aantal lymphocieten bepalen, dit om de drie uren in een eerste fase. Omwille van de sterke schommelingen van mens tot mens, is het belangrijk het eerste onderzoek zo vlug mogelijk na de blootstelling uit te voeren (bepaling van de referentiewaarde).

B.2. Chromosoom-afwijkingen.

Ioniserende stralen veroorzaken chromosoom-afwijkingen.

Men telt vooral de dicentrische chromosomen (twee centromeren) in de lymfocieten. Deze laatsten worden op draagglasjes gefixeerd na cultuur gedurende 48 uur op 37° en blokering van de celdeling.

De detectiedrempel van deze test is 0,1 - 0,2 Gy (10 - 20 rad) maar de evaluatie wordt pas nauwkeurig voor dosissen boven 0,5 Gy (50 rad).

De interpretatie van deze test wordt moeilijker als het om een gedeeltelijke of inhomogene bestraling gaat.

De opzoeking van chromosoom-afwijkingen gebeurt op 5 - 10 ml steriel gehepariniseerd bloed en vereist een degelijk uitgerust en getraind laboratorium.

IV. BASISRICHTLIJNEN VOOR DE BEHANDELING.

A. Uitwendige bestraling :

A1. Dosis lager dan 2 Gy.

Na uitwendige bestraling bij minder dan 2 Gy (200 rad), volstaat het de patiënt te volgen via bloedceltellingen en formules en verder de mogelijke (zeldzame) complicaties te behandelen. Het toezicht zal voor een dosis van 1 Gy (100 rad) op ambulante wijze gebeuren ; boven 1 Gy gebeurt het best in een gespecialiseerde instelling.

A2. Dosis gelegen tussen 2 en 5 Gy :

Voor een ontvangen dosis tussen 2 en 5 Gy (200 - 500 rad) zal, na een klinisch stilzwijgende periode (buiten het prodromaal syndroom), een medullaire aplasie met granulopenie en thrombopenie ontstaan tussen de 15de en de 30ste dag. Men moet de patiënt tegen infectie beschermen, in een steriele kamer opnemen en indien nodig transfusies met bloederivaten toedienen.

Het is nuttig de bacteriële flora van mond en darm te onderzoeken en bij aanwezigheid van pathogene kiemen gedurende de periode die de aplasie voorafgaat deze kiemen door de gepaste antibiotherapie uit te schakelen.

De beslissing al dan niet over te gaan tot een beenmergtransplantatie is moeilijk te treffen daar de ontvangen dosis meestal niet duidelijk vastligt. De transplantatie wordt aanbevolen voor een dosis boven 5 Gy. Voor lagere dosissen (3,5 - 5 Gy) is de indicatie twijfelachtig daar met een onvoldoende immunodpressie enerzijds de ent zich niet zal vastleggen en anderzijds het beenmerg van de bestraalde persoon opnieuw proliferatie kan ondergaan.

Men zal rekening houden met de individuele reactie op de bestraling (lymphocietendaling, heropflakking van de beenmergactiviteit) gedurende de tijd (soms meerdere weken) die meestal noodzakelijk is om de transplant voor te bereiden. Met dit doel moet dringend een HLA typering gebeuren (voor de lymphopenie ontstaat), en onder de familieleden die persoon opgezocht worden met de HLA-groep die dichtst bij de groep van de patiënt ligt.

Beenmergtransplantaties dienen uitgevoerd te worden in de daarin gespecialiseerde centra.

A3. Dosis van 6 Gy en meer.

Bij een dosis hoger dan 6 Gy (600 rad) ontstaat een ernstig gastro-intestinaal syndroom.

Dit impliceert de correctie van de deshydratatie en van de electrolyten balans, parenterale voeding en behandeling met antibiotica en antimycotica. Beenmergtransplantatie is hier de enige kans om de patiënt te redden.

Zijn er verbrandingen of verwondingen dan zal de agranulocytose de healing remmen en infectie bevorderen.

In dit geval moeten heelkundige ingrepen vroegtijdig gebeuren en de indicaties van beenmergtransplantaties kunnen uitgebreid worden.

Bij zeer hoge dosissen (meer dan 20 Gy d.i. 2000 rad) wordt het centraal zenuwstelsel aangetast ; desondanks elke behandeling zal de patiënt binnen de 72 uren overlijden.

B. Besmettingen.

Behandeling van uitwendige en inwendige besmettingen veronderstelt het opsporen van de besmetting en de identificatie van de betrokken nucliden.

Kennis van de aard van het ongeval en van de installatie kunnen helpen bij het stellen van de diagnose. Deze zal bevestigd worden door middel van fysische metingen : total-body-metingen bij inwendige besmetting, gamma spectrometrie en andere meettechnieken voor uitwendige besmetting.

B1. Uitwendige besmetting.

Identificatie en meting van een uitwendige besmetting vereisen gespecialiseerde installaties en deskundig personeel dat voor de ontsmetting instaat. Volgende informatie kan toch van nut zijn.

Uitwendige ontsmetting gebeurt volgens een nauw omschreven procedure en met de nodige voorzichtigheid om mogelijke uitbreiding van de besmetting tegen te gaan. Naargelang de omvang van het te behandelen oppervlak moet men gebruik maken van handschoenen, van een masker of zelfs van een speciale overall.

De lokalen moeten voorzien zijn van de nodige uitrusting : water, zeep, complexerende stoffen, niet irriterende detergentia, borstels, doeken, wissers, enz...).

Besmette kledingstukken worden in dichtsluitbare plasticzakken vergaard.

Een algemene meting zal de besmette oppervlakken aflijnen.

Meestal zijn handen en aangezicht besmet.

Men begint de decontaminatie in de holten (neus), en hun randen, en vervolgens komen de verschillende huidoppervlakken aan de beurt.

Men zal erop letten de huid niet te beschadigen.

Beschadigde huidoppervlakten moeten opgespoord worden en met waterdichte klevende kunststoffolie bedekt worden om penetratie en aldus inwendige besmetting te vermijden.

Om de huid te ontsmetten moet men de talglaag, bij middel van zeep en detergenten wegnemen. Soms zal men de oppervlakkige hoornlaag eveneens met dieper werkende produkten moeten aanvallen.

Bij blijvende besmetting na meerdere wasbeurten zal men gebruik maken van een verzadigde (zonder onopgeloste kristalen) kaliumpermanganaat-oplossing of van om het even welk huishoudelijk bleekmiddel.

De kontakttijd moet kort zijn en er moet zorgvuldig gespoeld worden.

De permanganaatkleur op de huid kan men doen verdwijnen met een 10 % natrium metabisulfiet oplossing.

De roodheid en overgevoeligheid van de huid als gevolg van de behandeling wordt bij middel van verzachtende zalf op basis van lanoline behandeld.

De hierboven beschreven manipulaties zijn de meest eenvoudige, gangbare en doeltreffende. Meestal zijn zij voldoende om het grootste deel van de radioactieve besmetting van de huid weg te nemen.

Besmette verwondingen en brandwonden worden gedecontamineerd door spoeling met een steriele fysiologische oplossing.

Het decontaminatieproces maakt deel uit van de heelkundige behandeling van het letsel. Er dient nadien aandacht besteed te worden aan de decontaminatie van het nursing materiaal.

B2. Inwendige besmetting.

Behandeling van inwendige besmetting verloopt in functie van de betrokken isotoop en het kritisch orgaan.

Preventieve maatregelen bieden wel voordelen.

Zo zal de preventieve inname van stabieljodium de schildklier verzadigen als kritisch orgaan voor radioactief jodium en aldus de captatie van I-131 blokkeren.

Op dezelfde wijze zal overvloedige inname van vocht de eliminatie van tritium bevorderen. Meestal, ongelukkig genoeg, is het niet mogelijk om het kritisch orgaan naar wens te blokkeren en zelfs niet om de verspreiding van de contaminant vanuit de ingangspoort, langs de bloedsomloop tegen te gaan.

Het maagdarmkanaal kan besmet worden door ingestie of zelfs inhalatie van radioactieve stoffen.

De behandeling wordt hier aangepast aan de omstandigheden.

De maag kan geledigd worden door spoeling of gestimuleerd braken.

Indien het element oplosbaar is, d.w.z. dat het door de gastro intestinale wand opgenomen wordt (Sr 90, Ca 47 en Cs 137,...), kan men het trachten onoplosbaar te maken.

Men kan eveneens gebruik maken van de isotopische dilutie methode door toediening van grote hoeveelheden van het niet radioactief element.

Een niet radioactief ion zal concurreren met het radioactief ion van hetzelfde element.

Een onoplosbare nuclide zal de darmwand bestralen tot het geëxcreteerd wordt.

In dit geval helpt het de darmtransit te versnellen.

Complexerende stoffen en andere specifieke agentia zoals ionenwisselaars, onoplosbaarheid bevorderende produkten, gels en zuurwerende middelen mogen enkel door gespecialiseerde personen gebruikt worden omwille van de inherente risico's.

Het ademhalingssysteem is de meest waarschijnlijke ingangspoort voor contaminanten bij een ongeval met radioactieve besmetting van de omgeving.

Om het kritisch orgaan te bepalen moet men de aard van de contaminant, zijn oplosbaarheid en de diameter van de deeltjes in acht nemen.

Oplosbare deeltjes van minder dan 5 microns kunnen in het bloed terechtkomen.

Dezelfde deeltjes, indien onoplosbaar, zullen zich in het longparenchym neerzetten.

Deeltjes met grote afmetingen zullen zich neerzetten in de grote bronchi, waar de trilhaartjes van het natuurlijk zuiveringssysteem ze zullen verwijderen naar de farynx om terecht te komen in het maagdarmkanaal.

Indien de radioactieve stof oplosbaar is en aldus min of meer snel in de bloedsomloop terecht kan komen kan men deze verspreiding trachten tegen te gaan bij middel van een of andere specifieke therapie.

Voor wat betreft het onoplosbaar materiaal dat zich in longparachym en bronchiolen heeft neergezet zijn de resultaten van behandeling met expectorantia en met longspoeling wisselvallig.

Specifieke therapieën worden voorbehouden aan specialisten.

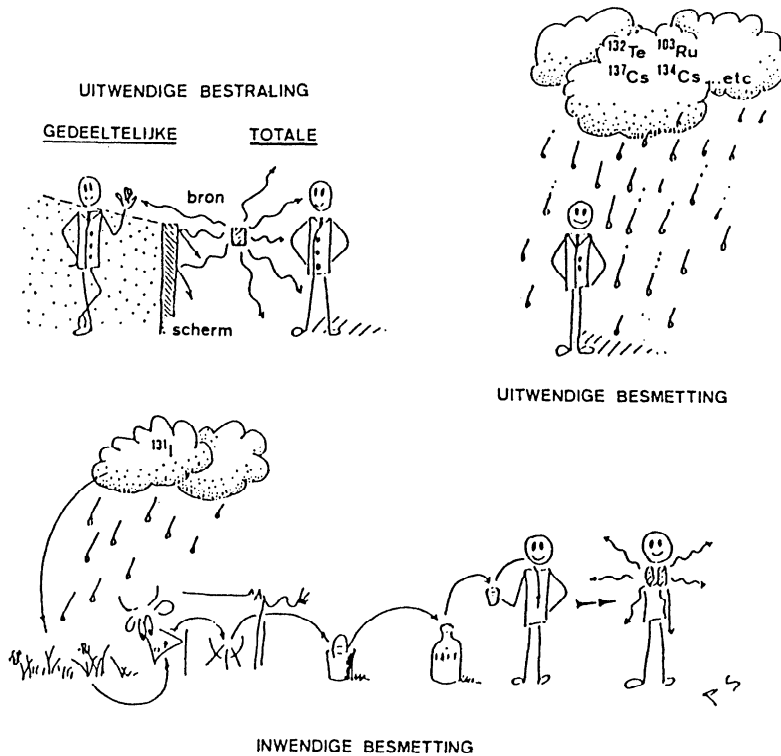


Fig. 1

Uitwendige bestraling : de stralenbron bevindt zich buiten het lichaam. Meestal gaat het om een X-stralenbuis, een Cobalt-60 bron of een ander radioelement. De invallende stralenbundel vanuit de bron kan een gedeeltelijke of totale blootstelling veroorzaken naargelang een deel van het lichaam al dan niet afgeschermd is. (Fig. 1 boven links : enkel hoofd en hand worden bestraald ; andere lichaamsdelen zijn afgeschermd).

Onder radioactieve besmetting verstaat men de accidentele aanwezigheid van radioelementen op de huid (uitwendige besmetting) of in het lichaam (inwendige besmetting). Dit laatste kan het gevolg zijn van inhalatie of ingestie van het radioelement of, meer zeldzaam, door incorporatie langs een wond. In het voorbeeld onderaan ziet men hoe Iood aanwezig in de neerslag langs het gras in de melk terecht komt. Na ingestie wordt I-131 in de schildklier opgenomen. (radioactief en stabiel Iood hebben een identiek metabolisme). De desintegratie van de radioactieve ioodatomen in de schildklier zet er een bepaalde hoeveelheid energie af (inwendige bestraling) die in verhouding staat met de opgestapelde activiteit (25).

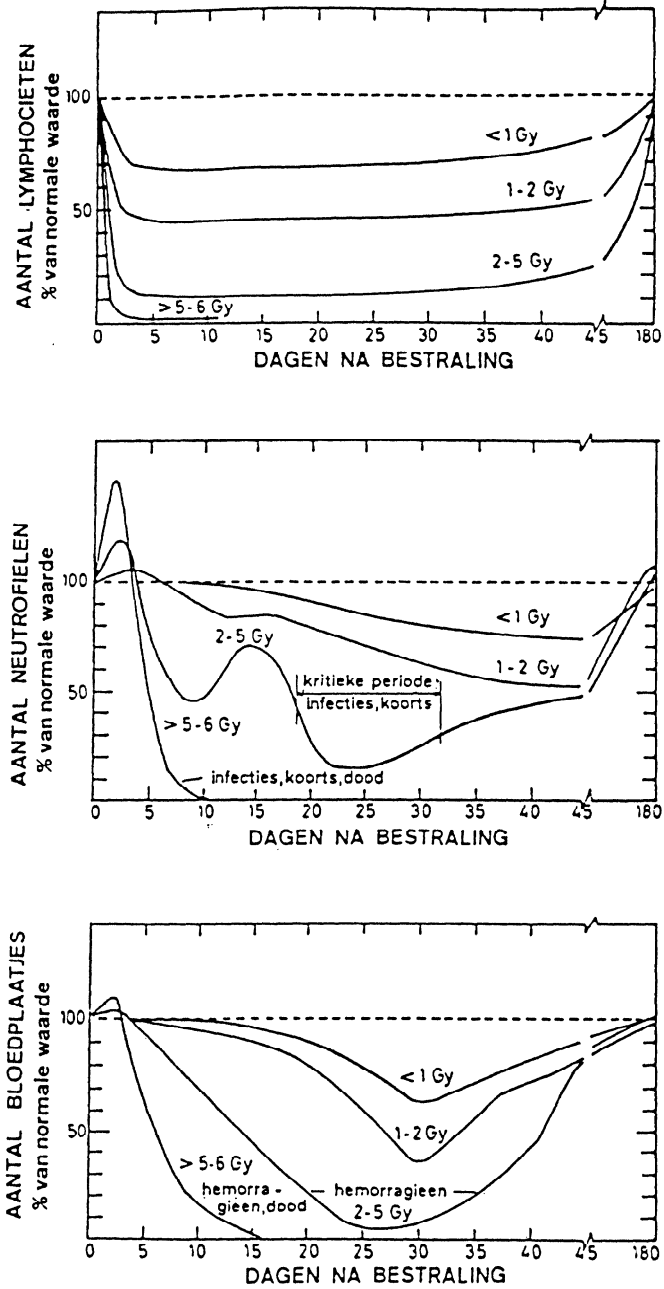


Fig. 2

Gemiddelde evolutie van het aantal bloedcellen bij verschillende stralendosisen (naar International Atomic Energy Agency (11))

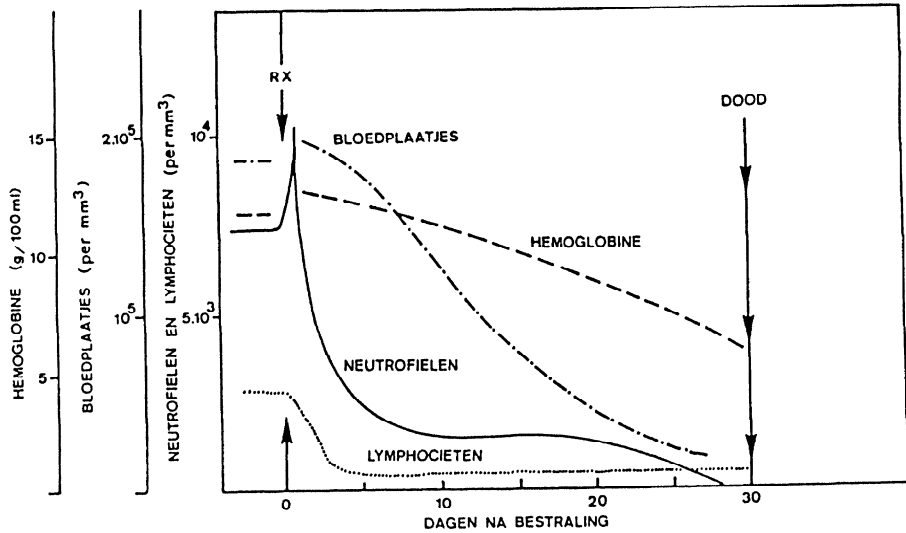


Fig. 3

Gemiddelde evolutie van het aantal bloedplaatjes, neutrofielen, lymphocieten en van de hemoglobine na bestraling van gans het lichaam met letale dosis. De snelle daling (uren) van het aantal lymphocieten kan gebruikt worden als "biologische dosimeter" (25)



Fig. 4 a

Schematische doorsnede van de huid. Het epidermis is aangeduid met de hoornlaag (Co), de laag van Malpighi (Ma) en de basale cellen laag (Ba). Haar dikte ligt tussen 75 en 150 μm (behalve aan de handpalm en de voet-zool waar zij 400 tot 600 μm kan bereiken). De dikte van de huid (epidermis en dermis) gaat meestal niet boven de 2 mm tot aan de meest oppervlakkige vetcellen van het hypodermis.

De basale cellen (Ba), die de stralengevoelige stamcellen zijn die door proliferatie de hernieuwing van het epidermis verzekeren, liggen dus op een diepte van 0,075 tot 0,15 mm (document van de Dienst van Prof. Lachapelle UCL, realisatie van Michèle Lemaire).

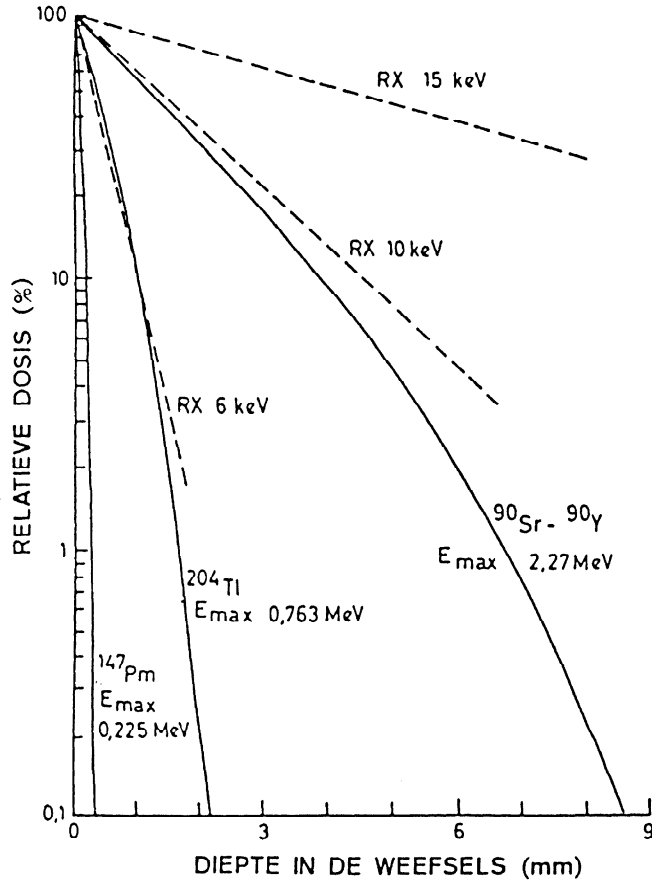


Fig. 4 b

Penetratie van beta stralen in de weefsels.

De relatieve dosis in de diepte, wordt weergegeven voor 3 radionucliden :

- een mengsel Strontium-90/Yttrium-90 met maximale energie 2,27 MeV ;
- Thallium-204, maximale energie 0,763 MeV ;
- Promethium-147, maximale energie 0,225 MeV.

De dosis neemt snel af met de diepte, des te sneller dat de energie laag is. Beta deeltjes dringen alleszins niet dieper dan enkele millimeters in de weefsels. Ter vergelijking worden de penetratiecurven voor X-stralen van 6, 10 en 15 keV getoond.

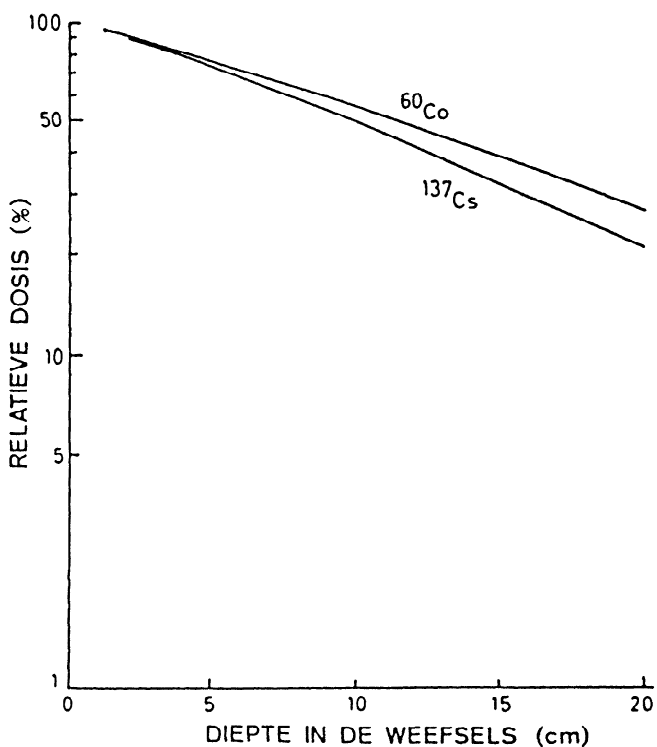


Fig. 4 c

Het grote penetratievermogen van de gammastralen van Cobalt-60 en Cesium-137 is opvallend in vergelijking met dat van beta en van X-stralen met lage energie. De curven worden weergegeven voor bundels van 20 x 20 cm en Focus Huid Afstand van 50 cm. De dosis in de weefsels daalt tot de helft op een diepte van ongeveer 11 cm voor Cobalt-60 (1,25 MeV) en een diepte van 10 cm voor Cesium-137 (0,66 MeV)
(25)

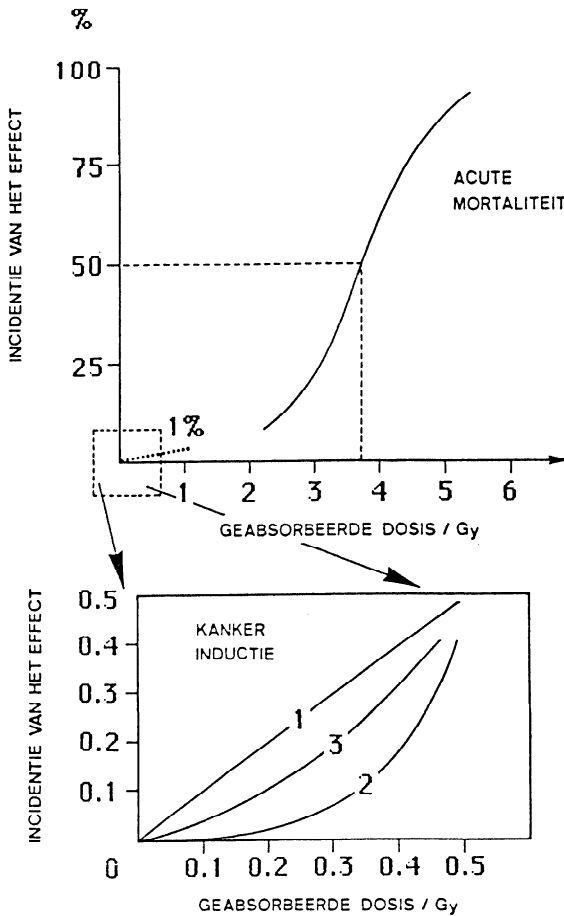


Fig. 5

Het bovenste gedeelte van Fig. 5 toont een voorbeeld van effect-dosis relatie voor een niet stochastisch effect. Het gaat hier om acute letaliteit door een beenmergsyndroom na totale bestraling op hoge dosis. De 50 % letaledosis is 3,7 Gy (zie text). De relatie effect-dosis is een sygmöide curve met drempel.

Het onderste gedeelte toont de gevolgen van kleine dosissen, waarvan men eerder stochastische effecten kan verwachten zoals kankerinductie (voorbeeld van Fig. 5) of genetische afwijkingen.

Voor de stochastische effecten zijn de risicocoefficienten (incidentie van de effecten) bekend voor hoge dosissen (bv 1 Sievert, zie text).

Daartegen, hun extrapolatie naar "lage dosissen" (enkele centi-Sievert of minder) vereist het inbrengen van hypothesen i.v.m. de effect-dosis relatie.

De curven 1, 2 en 3 komen overeen met verschillende hypothesen nl :
 lineaire extrapolatie zonder drempel, de relatie met drempel en de lineaire kwadratische relatie (25)

TABEL I.

Misselijkheid en braken na acute blootstelling aan ioniserende stralen.Bron : volgens International Commission on Radiological Protection (2,4).

<u>dosis</u>	<u>frekwentie misselijkheid en braken</u>	<u>latentietijd</u>
minder dan 0,5 Gy (50 rad)	0 % gevallen	-
1 Gy (100 rad)	5 % gevallen	3 uren
2 Gy (200 rad)	50 % gevallen	3 uren
3-6 Gy (300-600 rad)	100 % gevallen	2 uren
6-10 Gy (600-1000 rad)	100 % gevallen	1 uur
meer dan 10 Gy (1000 rad)	100 % gevallen	30 minuten

TABEL II.Evolutie van het aantal lymfocieten na acute blootstelling
aan ioniserende stralen.

Berekend volgens : International Atomic Energy Agency (12)

- minder dan 1 Gy (100 rad) : lichte daling van het aantal lymfocieten dat hoogstens met 50 % van de initiële waarde daalt en dat dus meestal boven 1500/mm³ blijft.

- 1-2 Gy (100-200 rad) : daling met meer dan 50 % van het initieel aantal lymfocieten dat dus in het algemeen rond 1000/mm³ komt te liggen en dit tussen 24 tot 48 uur.

- meer dan 2 Gy (200 rad) : duidelijke daling met ruim meer dan 50 % van het initieel aantal lymfocieten ; hun aantal valt meestal onder de 1000/mm³ binnen de 24 uren.

TABEL III.

STOCHASTISCHE EN NIET STOCHASTISCHE EFFECTEN.

De stochastische effecten hebben volgende kenmerken (zie figuur 5) :

- zij kunnen voorkomen zowel bij lage als bij hoge dosissen ;
- hun waarschijnlijkheid, niet hun ernst, stijgt met de dosis. De ernst van een radio-geïnduceerde kanker is niet groter dan die van een "spontane" kanker en is niet noodzakelijk groter bij een hogere dosis ;
- het effect (kanker, mutatie) treedt bij bepaalde bestraalde personen op, en bij andere niet (maar hetzelfde effect kan wel spontaan bij niet bestraalde personen optreden) ;
- de dosis-effect relatie bij lage dosissen is slecht gekend (men kan ondermeer het bestaan van een drempel niet bewijzen).

De niet stochastische effecten hebben volgende kenmerken :

- de aanwezigheid van een drempel. Geen enkel vroeg somatisch effect treedt op bij dosissen lager dan 0,5 Gy (50 rad) ;
- de ernst van het biologisch effect stijgt met de dosis (zie figuur 2). Zo wordt bv. daar waar de DL 50 door medullaire aantasting (hematologisch syndroom) tussen 3,5 en 4 Gy (350-400 rad) ligt, een matige medullaire depressie reeds waargenomen op 1 Gy (100 rad) ;
- het effect treedt op bij alle bestraalde personen (nochtans kunnen kleine verschillen in de intensiteit waargenomen worden omwille van de verschillen in de individuele stralingsgevoeligheid).

BIJLAGE I

IN DE RADIOPROTECTIE MEEST GEBRUIKTE GROOTHEDEN EN EENHEDEN

GROOTHEDEN	EENHEDEN	
	internationaal systeem	oud systeem
ACTIVITEIT ^(a) D	Bq (becquerel) 1 desintegratie per seconde $3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ Ci}$	Ci (curie)
GEABSORBEEERDE DOSIS ^(b) D	Gy (gray) 1 joule per kilogram	rad $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
DOSISEQUIVALENT ^(c) $H = D \times Q$	Sv (sievert) 1 joule per kilogram voor $Q = 1$	rem $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

- (a) De activiteit λ van een hoeveelheid radionucliden wordt bepaald door het aantal desintegraties dN die in deze hoeveelheid plaats vinden gedurende een tijdsinterval dt :

$$\lambda = \frac{dN}{dt}$$

- (b) De geabsorbeerde dosis D is gelijk aan het quotiënt van de gemiddelde hoeveelheid energie $d\bar{\epsilon}$ afgestaan door de straling aan de stof aanwezig in een volumeelement dV op de massa aanwezig in dat volumeelement

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

- (c) Het dosisequivalent H is het produkt van de geabsorbeerde dosis D en de kwaliteitsfactor Q die afhankelijk is van de aard van de straling. Men neemt $Q = 1$ voor X en gammastralen, $Q = 10$ voor neutronen en $Q = 20$ voor alpha's en zware kernen. De kwaliteitsfactor (en aldus het dosisequivalent) is enkel bepaald voor lage dosissen en wordt niet gebruikt bij een ongeval met hoge dosis bestraling.

$$H = D \times Q$$

(naar [15] [23])

BIJLAGE II = RELATIE TUSSEN DE IN DE RADIOPROTECTIE GEBREUKTE GROOTHEDEN

<p>ACTIVITEIT aantal desintegraties per seconde</p>	<p>Activiteit in de omgeving (in de lucht en in de bodem)</p>	<p>Activiteit in de voedselketen Biologische wegens Activiteit in de organen</p>
<p>GEABSORBEERDE DOSIS D neergezette energie per massaëenheid</p>	<p>Uitwendige bestraling Uitwendige geabsorbeerde dosis + inwendige geabsorbeerde dosis = TOTALE GEABSORBEERDE DOSIS</p>	<p>Inwendige bestraling</p>
<p>DOSIS EQUIVALENT H geabsorbeerde dosis biologisch gewogen (risiko evaluatie).</p>	<p align="right">biologische weging factor Q</p> <p align="center">Dosis equivalent ($H = D \cdot Q$)</p>	

(volgens [15] [23])

REFERENTIES.* Publikaties van internationale organisaties.- Internationale Commissie voor Stralingsbescherming :

- (1) "Recommandations of the International Commission on Radiological Protection", I.C.R.P. Publication 26, 1977.
- (2) "The Principles in General Procedures for Handling Emergency and Accidental Exposures of Workers", I.C.R.P. Publication 28, 1978.
- (3) "Biological Effects of inhaled Radionuclides", I.C.R.P. Publication 31, 1979.
- (4) "Protection of the public in the Event of Major Radiation Accident : Principles for Planning", I.C.R.P. Publication 40, 1984.
- (5) "Non - Stochastic Effects of Ionizing Radiation", I.C.R.P. Publication 41, 1984.

- Verenigde Naties :

- (6) "Ionizing Radiation : Sources and Biological Effects", United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, UNSCEAR, 1982.
- (7) "Sources and Effects of Ionizing Radiation", UNSCEAR 1977.
- (8) "Genetic and Somatic Effects of Ionizing Radiation", UNSCEAR 1986.

- Internationaal Atoom Energie Agentschap :

- (9) "Handling of Radiation Accidents", I.A.E.A., Symposium, Vienna 1976.
- (10) "Manual on the Early Treatment of Possible Radiation Injury", Safety Series N°47, I.A.E.A., Vienna (1978).

- (11) "What the general practitioner (MD) should know about medical handling of overexposed individuals". I.A.E.A. - T.E.C.D.O.C. - 366, Vienna 1986.
- (12) "Manual on Radiation Haematology", I.A.E.A., Technical Reports Series N°123, Vienna, 1971.

* Boeken :

- (13) "The Effects on Populations of Exposure To Low Levels of Ionizing Radiation", Committee on the Biological Effect of Ionizing Radiations, National Academy of Sciences, 1980.
- (14) "Management of Persons Accidentally Contaminated With Radionuclides", National Council on Radiation Protection and measurements, N.C.R.P. Report N°65, 1980.
- (15) DUTREIX A., MARINELLO G., WAMBERSIE A. - Dosimétrie en curiethérapie, Masson, Paris, 1982.
- (16) HALL E.J. - Acute effects of whole body irradiation. In : Radiobiology for the Radiologist. pp. 203 - 215, Harper & Row, 1978.
- (17) METTLER F.A., MOSELEY, R.D. - Direct effects of radiations. In : Medical effects of ionizing radiations. pp. 126 - 191. Grüne & Stratton, 1985.
- (18) TUBIANA M., DUTREIX J., WAMBERSIE A. - Radiobiologie, Hermann, Paris, 1986.

* Artikels :

- (19) ADAMS G.E. - Lethality from acute and protracted radiation exposure in man. An account for a forum organized by the Medical Research Council's Committee on effect of ionizing radiations. Int J. Radiation Biology 46 : 209 - 217, 1984.

- (20) ERRERA M. - Les effets des radiations nucléaires à faibles doses. La recherche, vol. 16 : 959 - 968, 1985.
- (21) HAUT H., WAMBERSIE A. - Les contaminations internes en radioprotection : risques et détections. Louvain Medical 103 : 121 - 133, 1984.
- (22) LLOYD, D.C., DOLPHIN, G.W., "Radiation - induced chromosome damage in human lymphocytes", British Journal of Industrial Medecine, 34, 261 - 273, 1977.
- (23) SCALLIET P., VYNCKIER S., LEJEUNE P. et WAMBERSIE A. - A propos de Tchernobyl : I. Les effets d'une irradiation accidentelle chez l'homme. Louvain Médical 106 : 5 - 18, 1987.
- (24) THOMA G.E., WALD N. - The diagnosis and management of accidental radiation injury. J. Occupationn Medicine 1 : 421 - 447, 1959.
- (25) WAMBERSIE A., SCALLIET P. - A propos de Tchernobyl : II. Un an après : leçons et conséquences sanitaires et économiques. Bilan pour la population belge. Louvain Médical, 107 : 111 - 130, 1988.

RESUME

Le présent article a pour but de donner aux médecins et aux pharmaciens les éléments nécessaires pour intervenir efficacement en cas d'exposition aux rayonnements ionisants. A cet effet, il débute par une présentation résumée et pratique des mesures médicales d'urgence en présence d'une personne susceptible d'avoir été exposée aux rayonnements ionisants, que ce soit par voie externe ou par voie interne. Il se poursuit par un rappel et une mise à jour des notions essentielles concernant les effets aigus et les effets à long terme provoqués par les rayonnements ionisants. Il remet enfin en mémoire les principes et les orientations des traitements éventuels.

ABSTRACT

The aim of this text is to provide physicians and pharmacists with the necessary information for an efficient intervention in case of exposure to ionizing radiation.

It starts with a short and practical description of the medical emergency measures in presence of a person possibly exposed to ionising radiation, either by external or internal way.

It goes further by recalling and updating the essential notions about the acute and long term effects of ionising radiation.

It ends with a reminder of the principles and orientations of possible treatments.

MESURES DE RADON DANS DES BATIMENTS SCOLAIRES

M. GHYOOT (1) et F. TONDEUR (1,2)

- (1) Institut Supérieur Industriel de l'Etat à Bruxelles
158, rue Royale, 1000 Bruxelles
(2) Université Libre de Bruxelles

Reçu le 26 avril 1989

Résumé

Des mesures d'énergie alpha potentielle (EAP) ont été effectuées dans des écoles de la région bruxelloise et de la province du Luxembourg. Dans cette dernière, six établissements sur dix présentaient une EAP dépassant 0,02 WL et trois dépassent 0,07 WL. Le risque de décès par cancer après une carrière d'enseignant est voisin de 0,7 % dans ces trois établissements. Le risque serait sensiblement le même pour un enfant y passant une dizaine d'années. S'agissant de lieux de travail, le règlement général de protection contre les radiations ionisantes semble pouvoir être appliqué.

1. Introduction

On a pris conscience ces dernières années de l'importance du radon dans l'exposition de la population aux rayonnements ionisants. En Belgique, les enquêtes menées en particulier par un groupe de l'université de Gand (1) ont clairement montré que le pays n'est pas à l'abri du problème, et qu'un nombre important de bâtiments du sud du pays devraient présenter des concentrations excessives en radon.

L'attention a porté jusqu'ici surtout sur la radioactivité de l'air des habitations. Cependant, de concentrations élevées en radon pourraient être observées dans n'importe quel type de

bâtiment . Alors que les règlements en vigueur semblent difficilement applicables aux habitations privées, cela pourrait ne pas être le cas pour les bâtiments publics ou les lieux de travail, encore que ce problème ne soit pas explicitement envisagé dans la législation actuelle.

Les bâtiments scolaires , que nous avons choisis pour cette enquête , sont des lieux de travail où des travailleurs pourraient être exposés à des doses de rayonnement significatives. C'est aussi , après leur maison , le lieu où les enfants passent le plus de temps . Leur radiosensibilité plus grande , probable quoique non prouvée dans le cas du radon , en fait une catégorie de la population particulièrement à protéger, et donne un intérêt spécial à une étude du radon en milieu scolaire.

Les résultats présentés ci-après sont loin d'offrir une vue suffisante de la situation dans les écoles. Ils mettent cependant en lumière une situation alarmante dans le sud du pays , ce qui nous décide à les publier sans attendre une enquête complémentaire.

Pour des raisons évidentes , liées en particulier à la concurrence entre réseaux scolaires , les écoles visitées ne seront pas identifiées ni localisées avec précision. Ces localisations ont été communiquées aux pouvoirs organisateurs concernés dès la fin des mesures.

2. Unités de mesure

Deux grandeurs peuvent être obtenues dans les mesures de radon: la concentration du radon dans l'air , exprimée en Bq/m³ ,

ou l'énergie alpha potentielle (EAP) des produits de filiation du radon . L'EAP est l'énergie par unité de volume qui peut être dégagée sous forme d'émission alpha par l'ensemble des produits de filiation du radon à vie courte , présents dans le volume considéré, au bout d'un temps infini (ce qui signifie quelques heures!) . Cette énergie est celle qui pourra être libérée au niveau des poumons par les produits de filiation qui s'y déposent. L'EAP est souvent exprimée par l'équivalent de radon à l'équilibre (ERE) qui est la concentration de radon en Bq/m³ qui produirait à l'équilibre la même EAP que les produits considérés. Le rapport de la concentration ERE à la concentration réelle du radon est le facteur d'équilibre , typiquement inférieur à l'unité suite au dépôt partiel des produits de filiation sur les parois de la pièce. On admet souvent , aux fins de calculs approchés , un facteur d'équilibre de 0.5 , ce qui signifie que la concentration du radon est voisine du double de l'ERE .

L'usage de l'ERE pouvant prêter à confusion , on peut lui préférer l'utilisation d'une unité hors-SI d'usage courant , le niveau de travail (work level WL) initialement défini comme l'EAP correspondant à un ERE de 100 pCi/l , soit 3700 Bq/m³. On utilise aussi le WLM (work level. month) qui est l'exposition à un WL pendant une durée d'un mois de 170 heures.

3. Méthode de mesure

La méthode utilisée est le passage de l'air à travers un filtre de 0,8 microns, suivi de 2 ou 3 comptages de l'activité alpha par un détecteur à jonction , sur quatre canaux correspondant respectivement aux raies alpha du ²¹⁸Po , du ²¹¹Bi, du ²¹⁴Po et du ²¹²Po. Les concentrations des produits de

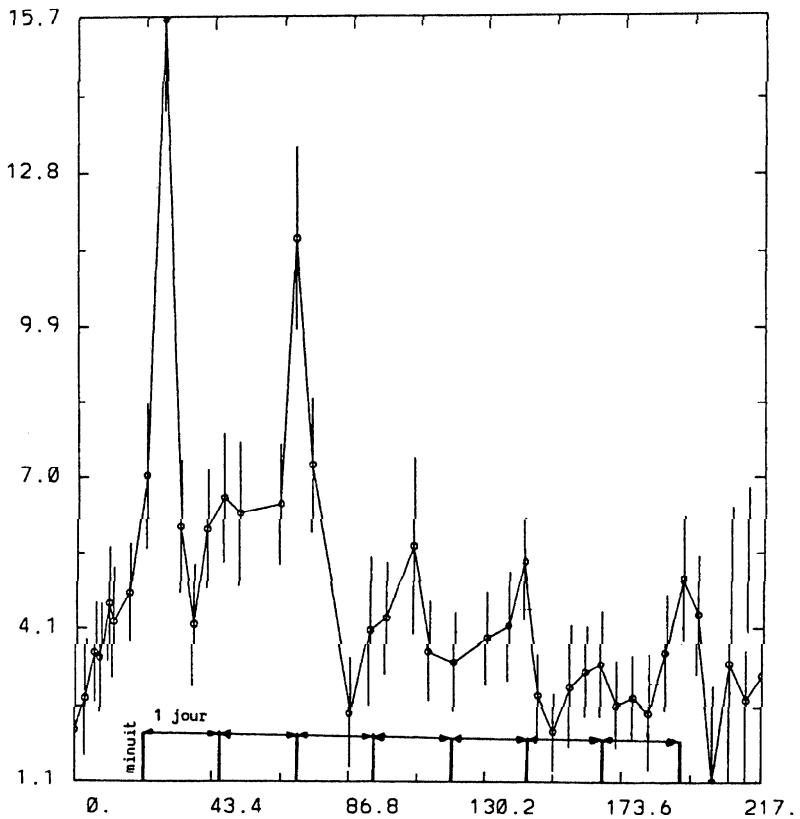
filiation du radon et l'énergie alpha potentielle (EAP) sont calculées par l'appareil, un moniteur Silena 3S. Sa calibration a été contrôlée par des mesures comparatives faites avec une méthode similaire par l'université de Gand. La calibration d'origine du constructeur a dû être modifiée, principalement à cause d'une valeur peu précise du débit de pompage renseignée par la firme.

L'échantillonnage étant de courte durée (cinq à quinze minutes selon le cycle choisi), il n'est pas représentatif de la situation moyenne. Aussi les mesures ont-elles été répétées en chaque lieu à plus d'une semaine d'intervalle (2), trois mesures ayant été faites dans la plupart des cas. Les résultats donnés ci-après sont les moyennes de ces trois mesures.

Une étude de la variabilité de l'EAP au cours du temps a été faite dans plusieurs bâtiments. La figure donne un résultat typique dans une habitation où la moyenne est comparable à la moyenne nationale établie par Vanmarcke et al.(1). Des variations d'un facteur dix sont observées, indiquant une probabilité non négligeable qu'une mesure isolée diffère de la moyenne d'un facteur trois. Dans les locaux très contaminés, on observe cependant une plus grande stabilité des mesures.

Toutes les mesures ont été faites dans des conditions d'aération réduite depuis douze heures au moins (fenêtres et portes fermées) ce qui se justifiait par le désir d'éviter que les conditions de ventilation typiques de la période des mesures (été 1988) ne conduisent à des résultats anormalement bas. L'effet opposé d'amplification du risque est dès lors peut-être présent dans nos chiffres. C'est là le défaut principal de la

méthode suivie , comparée à l'utilisation de détecteurs donnant un résultat intégré sur plusieurs semaines (1).L'avantage de la méthode est par contre la capacité de mettre en évidence immédiatement les situations très anormales et de réagir immédiatement à celles-ci par une extension des mesures à tout le bâtiment et une étude rapide de l'efficacité de contre-mesures de ventilation.



-3

Figure: Evolution de l'EAP (10 WL) au cours du temps (h) dans une habitation du Brabant , mars 1988.

4. Résultats

Nous donnons dans le tableau les moyennes des trois mesures effectuées , d'une part pour l'énergie alpha potentielle , exprimée en niveau de travail (WL) , d'autre part pour la concentration du ^{218}Po . L'appareil ne mesurant pas la concentration du radon , celle du ^{218}Po , typiquement voisine de 90% de celle du radon (3), donne une idée grossière de ce que serait celle du ^{222}Rn . Par ailleurs , nous donnons aussi la concentration équivalente de radon à l'équilibre (ERE) qui est typiquement de l'ordre de 50% de celle du radon.

On remarquera la nette différence d'ordre de grandeur entre les chiffres mesurés dans la province du Luxembourg et ceux obtenus à Bruxelles: les chiffres les plus élevés à Bruxelles atteignent à peine les chiffres les plus bas du Luxembourg!

En l'absence de norme Belge , il est utile de se référer à la norme d'intervention de l'agence américaine de protection de l'environnement , qui recommande des actions correctives dès que l'EAP dépasse 0,02 WL . Par rapport à cette norme , on ne constate aucune nécessité de correction à Bruxelles , alors que six établissements sur dix dépassent le chiffre-seuil dans la province du Luxembourg. Pour trois d'entre eux , le dépassement est important , impliquant des contre-mesures rapides . Pour l'école n°1, une étude systématique a été immédiatement entreprise dans l'ensemble des locaux , mettant en évidence des niveaux généralement moins élevés que dans la classe de référence, mais dépassant le niveau d'intervention de 0,02 WL. La moyenne est estimée à 0,1 WL. Des particularités de construction ont permis d'expliquer , semble-t-il, les niveaux de radon relevés

TABLEAU 1 : Résultats des mesures. B=Bruxelles ,L=Luxembourg

n°	EAP (WL)	Q(ERE) (Bq/m3)	Q(218Po) (Bq/m3)
L1 (*)	.215	811	1261
L1 (**)	.102	384	
L2	.032	123	190
L3	.009	35	61
L4	.013	48	99
L5	.083	314	570
L6	.010	39	82
L7	.010	39	73
L8	.022	83	156
L9	.070	263	460
L10	.026	99	176
B11	.002	8	13
B12	.001	4	11
B13	.001	4	5
B14	.005	19	41
B15	.003	10	19
B16	.001	3	7
B17	.002	7	12
B18	.009	35	72
B19	.002	6	20

(*) local de référence

(**) moyenne des locaux

dans cette école. Le radon y provient du sous-sol , car les classes les plus contaminées sont celles construites sans caves ni vide ventilé entre elles et le sol.

La contamination relevée dans les locaux de l'école n°1 exigeait une action immédiate. Des mesures ont rapidement prouvé l'efficacité d'une aération accrue , qui a été conseillée à titre provisoire. L'installation de ventilateurs avec récupération de chaleur et des travaux d'étanchéisation sont en cours.

5. Implications réglementaires

En l'absence de réglementation spécifique pour le radon , on ne peut que se tourner vers les A.R. des 28.2.1963 (5) et 16.1.1987 (6) portant règlement général de la protection des travailleurs et de la population contre le danger des radiations ionisantes. Il s'agit bien de cela ici : les enfants font partie de la population , et les enseignants sont bien des travailleurs. Certes , il n'est pas souhaitable de faire appel à un règlement dans un contexte pour lequel il n'a pas été explicitement prévu. Mais il serait par ailleurs inadmissible que des travailleurs soient laissés sans protection contre des rayonnements bien réels alors que leur profession n'implique en rien l'exposition aux rayonnements , et que les travailleurs professionnellement exposés sont de leur côté protégés par une réglementation très contraignante.

Si l'A.R. du 16.1.1987 exclut le fond naturel des rayonnements, celui-ci y est défini comme le rayonnement naturel "dans la mesure où l'exposition qui en résulte n'est pas

augmentée de manière significative du fait de l'homme". Or , une construction sur terrain radonifère , avec ventilation réduite , est certainement un "fait de l'homme" susceptible d'augmenter de manière significative l'exposition. Par ailleurs , le même arrêté s'applique " à toute activité qui implique un risque résultant des rayonnements ionisants", ce qui est bien le cas d'un travail dans un bâtiment contaminé par le radon. Sur cette base , nous pensons qu'on peut appliquer aux écoles la réglementation sur la limitation des doses. L'exposition professionnelle des personnes de moins de 18 ans étant exclue, les limitations de dose pour les personnes du public s'appliquent aux enfants : pas plus de 5 mSv par an. Selon toute vraisemblance, la même limite s'applique aux enseignants , dont on voit mal comment ils pourraient être qualifiés de professionnellement exposés. La limite dérivée d'EAP pour une exposition de 2000 heures par an , est de 0,04 WL sur la base des données de l'A.R. du 16.1.1987. Cette limite est dépassée dans trois établissements de la province du Luxembourg. Dans ces trois cas au moins , une base légale existe pour imposer une action corrective , ou pour d'éventuels recours individuels de parents ou d'enseignants.

Il nous faut cependant indiquer que cette interprétation , qui se base sur la lettre du règlement , est contestée par certains spécialistes qui s'appuient sur l'esprit dans lequel celui-ci aurait été rédigé , ainsi que sur certaines recommandations d'organismes internationaux. Sans contester le bien-fondé de ces objections , nous désirons faire remarquer que les modifications apportées en 1987 au règlement de 1963 vont dans le sens d'une définition beaucoup plus large , quoique assez floue , de son

champ d'application, et une définition beaucoup plus restrictive des exclusions, pour ce qui concerne la radioactivité naturelle. Tout se passe comme si les ministres signataires avaient délibérément souhaité que tout problème non prévu, relatif au danger des rayonnements ionisants, entre d'office dans le champ d'application de l'arrêté, peut-être en attendant une réglementation spécifique, en tout cas pour éviter le vide réglementaire.

6. Evaluation du risque

Cette première approche basée sur les règlements existants ne doit pas faire oublier que les limites dérivées pour le radon ont été établies avant certaines réévaluations récentes du facteur de conversion exposition-dose (1) et avant la réévaluation du facteur de risque de décès par cancer consécutifs aux études les plus récentes concernant les survivants d'Hiroshima et Nagasaki, et la mise en évidence indubitable de la radiosensibilité plus élevée des enfants.

Sur la base des études de Vanmarcke et al.(1), un facteur de conversion de 7,5 mSv/WLM peut être avancé (1WLM=170 WL .h; un facteur d'équilibre de 0.5 a été utilisé). James, cité par Vanmarcke, arrive à un résultat deux fois plus élevé. De manière générale, les estimations dosimétriques conduisent à une marge de 5 à 20 mSv/WLM (7). Combinant ce chiffre avec le facteur de risque de décès de 0,05 à 0.1 décès/Sv qui se dégage des études récentes des conséquences d'Hiroshima et Nagasaki (8,12), on arrive à un risque de décès de 0,00025 à 0,002 par WLM. Pour les enfants, on doit tenir compte d'un facteur 1,5 à 2 d'accroissement des doses (9) et d'une radiosensibilité accrue

(11), ce qui pourrait mener à un risque au moins quatre fois plus élevé. Ainsi, l'enfant passant une dizaine d'années dans une école contaminée court un risque comparable à celui de l'enseignant sur toute sa carrière.

Remarquons que les estimations récentes du risque, basées sur les données concernant les mines d'uranium, confortent plutôt la partie basse de la fourchette donnée ci-dessus. Jacobi cite (10) 0,00035 décès/WLM (NAS-BEIR, 1988) pour la population américaine, sur la base du modèle relatif de risque, qui semble mieux adapté que le modèle absolu pour le poumon (8). Le dernier chiffre correspond assez bien aux estimations de dose de Vanmarcke et al. (1). Les valeurs plus élevées de certaines estimations dosimétriques pourraient provenir d'une surestimation du facteur de qualité pour les alphas, d'une surestimation du facteur de pondération des tissus exposés, ou de l'effet réducteur du risque des faibles débits de dose. Ce dernier effet n'est cependant pas établi pour des radiations à TEL élevé comme les alphas. Notons que dans le cas des estimations épidémiologiques du risque, il n'y a pas d'extrapolation vers les faibles débits de dose, car tel est déjà le cas pour l'exposition des mineurs.

Sur la base des chiffres cités par Jacobi (11), revenons aux trois écoles à niveau élevé de radon. Notons que l'école L5 est un internat, où la durée de l'exposition devrait être plus élevée que 2000 heures par an, et que pour L9, les mesures ont été faites à l'étage: on s'attend donc à des résultats plus élevés en moyenne. Ces deux cas sont donc finalement tout à fait comparables à L1. L'exposition moyenne à L1 est d'environ 0,8

WLM par an (sur la base de 180 jours de 7,5 heures) , la dose reçue par un adulte est de 6 mSv par an , portée à 9 à 12 mSv par an pour un enfant selon son âge . L'exposition totale sur une carrière d'enseignant pourrait atteindre 30 WLM , ce qui n'est pas très inférieur aux 40 WLM pour lesquels le risque est considéré comme établi dans les mines : il n'y a donc guère d'extrapolation vers les faibles doses dans ce cas , surtout si l'on tient compte du fait que l'exposition domestique dans la région devrait atteindre en moyenne 20 WLM sur la vie. Après une carrière complète dans cette école , l'enseignant court un risque voisin de 0,7 % de décès par cancer du poumon du fait de son activité professionnelle. Ainsi qu'indiqué ci-dessus, un risque similaire est couru par un enfant après une dizaine d'années dans cette école (par exemple maternelles + primaires). Ce niveau de risque est sensiblement plus élevé que les risques professionnels courants . Cette situation n'est cependant inquiétante que dans la mesure où l'on n'y porterait pas remède , ce qui peut généralement être effectué par des moyens assez simples.

7. Discussion

Si l'on étend à l'ensemble du sud du pays les résultats observés dans la province du Luxembourg, on peut estimer que des dizaines de milliers d'enfants et de travailleurs sont exposés , dans les écoles et sur les lieux de travail , et sans aucun contrôle, à des doses comparables à celles reçues par le personnel du secteur nucléaire , et supérieures à celles qu'autorise la réglementation actuelle pour des personnes non

professionnellement exposées. Nous pensons que cette réglementation donne déjà une base suffisante pour imposer des contre-mesures dans les cas les plus graves. Il serait cependant souhaitable qu'un règlement spécifique soit édicté rapidement . On ne pourrait cependant pas admettre que ce règlement assure moins bien la protection de la population que les normes actuelles . Une EAP de 0,04 WL sur les lieux de travail est donc un maximum que rien ne devrait autoriser à dépasser. Le seuil d'intervention américain de 0,02 WL n'est donc en aucune manière exagéré , compte tenu de la tendance à la baisse des normes et aussi du principe ALARA inscrit dans notre réglementation.

Par ailleurs , l'attention portée aux écoles et autres lieux de travail ne doit pas faire oublier que la plus grande partie du risque associé au radon est encourue dans les habitations et principalement avant l'âge de vingt ans . Une réglementation particulière devrait peut-être être envisagée pour l'exposition des enfants dans l'habitation familiale .

Références

1. Vanmarke H., Poffijn A., Rees F., Eggermont G., Uyttenhove J., Berckvens P., Van Dingenen R., Bourgoignie R., Jacobs R., Ann. Assoc. Bel. Radiopr., 13(1988)33
2. Agence de l'énergie nucléaire (OCDE), Métrologie et surveillance du radon, du thoron et de leurs descendants, Paris, France, 1985
3. NCRP, report 78, Bethesda, USA, 1984
4. EPA, A citizen's guide to radon, 1986
5. Moniteur belge, 16 mai 1963
6. Moniteur Belge, 12 mars 1987
7. Bodansky D., Robkin M.A., Stadler D.R., eds, Indoor radon and its hazards, Univ. Washington Press, Seattle, USA, 1987
8. Maisin J., exposé scientifique fait à l'assemblée générale de l'association belge de radioprotection, décembre 1988
9. Agence de l'énergie nucléaire (OCDE) : aspects dosimétriques de l'exposition aux produits de filiation du radon et du thoron, Paris 1983
10. Jacobi W., Health Physics, 55(1988)845
11. Jacobi W., Proc. NEA Workshop on epidemiology and radiation protection, Paris, oct. 1987, OECD, p87
12. Pierce D.A., ref. 11, p 129

ABSTRACT

Radon daughter products measurements have been performed on schools in the Brussels region and in the Luxembourg province. In Luxembourg, six schools have been found to have an alpha potential energy above 0,02 WL, and three of them above 0,07 WL. The lung cancer risk in these three schools is about 0.7 % for a teacher after a full career, or for a child after 10 years at school. Schools being work places, the general regulation on the protection against ionizing radiations could be applied.

SAMENVATTING

We hebben de concentratie van radon dochters gemeten in scholen van het Brusselse gewest en van de provincie Luxemburg. In Luxemburg, uit tien scholen zijn er zes die een potentiële alfa energie boven 0,02 WL hebben, en drie boven 0,07 WL. Het risico om longkanker te krijgen in deze drie scholen is ongeveer 0.7 % voor een leraar na een volledige carrière, of een kind na tien jaar op school. Daar scholen werkplaatsen zijn, zou men het algemene reglement op de bescherming tegen ioniserende stralingen toepassen.

THE GOIANIA ACCIDENT *

J. R. CROFT
National Radiological Protection Board
Northern Centre, Hospital Lane, Cookridge
Leeds LS16 6RW

ABSTRACT

The Goiânia accident was one of the most serious radiation accidents that has occurred. This paper describes the background to the accident, the accident itself, the initial and the subsequent responses. Although the emphasis is on the medical effects and how they were dealt with, the major elements of the decontamination operation are addressed. Finally the main lessons from the accident are summarised.

INTRODUCTION

On 13th September 1987, a 50.9 TBq caesium-137 source was removed from its protective housing in a teletherapy machine in an abandoned clinic in Goiânia, Brazil. The source was subsequently ruptured and the activity widely dispersed in the city. Many people incurred large doses due to both external and internal exposure. Four of these died and 28 suffered radiation burns. The extent and degree of contamination were such that seven residences and various associated buildings had to be demolished and topsoil had to be removed from a significant area. The decontamination of the environment took about 6 months to complete and generated some 3500 m³ of radioactive waste.

This was one of the most serious radiological accidents that has occurred. Since 1945 there have been 59 reported deaths due to serious radiation exposure in 17 accidents, with 10 of these accidents being in the non-nuclear sector[1]. The extent to which these have been reported in readily accessible literature has varied considerably and consequently we have not been able to benefit as much as we should from learning the

* presented before the Belgian Radioprotection Association on 15 December 1989.

lessons from these accidents. With this in mind and with a perception that greater attention needs to be paid to radiological protection outside the nuclear sector, the IAEA collaborated with the Brazilian Authorities in carrying out a post accident review. The author was fortunate enough to act as a consultant to IAEA in this review and in the drafting of the report of the accident, which has now been published[2].

BACKGROUND INFORMATION

Goiânia is a large city with a population of about one million and is the capital of Goiás State which is on the central Brazilian plateau. It is of the order of 1000 km from the cities of Rio de Janeiro and Sao Paulo where the major radiological protection resources are situated. The accident occurred in one of the poorer areas of the city, where the literacy of the population is limited.

Radiation Protection Infrastructure

The competent national authority for nuclear energy is the National Commission for Nuclear Energy (CNEN). This has three research institutes which provide the main sources of radiological expertise in the country.

- (a) The Institute for Nuclear Energy Research (IPEN), Sao Paulo, has a research reactor which is used to produce radioisotopes for medical and industrial uses. It also processes uranium and thorium.
- (b) The Institute for Nuclear Engineering (IEN), Rio de Janeiro, has a research reactor.
- (c) The Institute for Radiation Protection and Dosimetry (IRD), Rio de Janeiro, is the nearest equivalent in Brazil to the NRPB and provided the major element of the professional staff and technical facilities in the recovery operation after the accident.

Some radiation protection expertise was also available in two Federal Government Agencies: NUCLEBRAS which is responsible for uranium prospecting, extraction and handling, and FURNAS which is responsible for nuclear power generation, having one operating power station at Angra, south of Rio de Janeiro.

Regulatory Framework

CNEN licences the purchase and holding of radioactive material. The licensing procedure takes into account the facilities, key personnel and

radiation safety documentation, and includes a commissioning inspection. One of the conditions of the licence is that CNEN be informed of any material changes, eg. disposal or change of location of a source. CNEN is also the body responsible for making regulations governing the use of ionising radiations and in some sectors of use it also enforces the regulations. However, in the medical sector this is the responsibility of the Federal Ministry of Health, which has devolved this responsibility to the State Ministries of Health. The extent to which this responsibility was discharged varied considerably between the states.

Emergency Arrangements

The existing emergency arrangements were designed to deal with two main categories of accident. Firstly there was the site specific plan for the Angra nuclear power plant. Though not designed for accidents in the non-nuclear power sector, the underlying preparation and planning for emergency actions undoubtedly helped in the Goiânia accident. Of particular relevance were the Logistical Support element and the arrangements to deal with radiation casualties at the Naval Hospital in Rio de Janeiro.

There were also arrangements for dealing with radiological emergencies in the non-nuclear power sector, however these were focussed on relatively small scale accidents such as those from transport and industrial radiography. These arrangements centred on one emergency contact in CNEN headquarters who would then activate various appropriate nominated people mostly from within CNEN's Institutes. There was no equivalent to the NAIR Scheme in the UK, identifying local sources of radiation protection expertise and medical facilities capable of dealing with contaminated patients.

THE ACCIDENT

This section briefly tells how the accident came about, developed and was discovered. Individuals are referred to by the system of initials used in the IAEA report and the doses are those that were initially estimated from chromosome aberration analysis.

Lead-up to the Accident

The Instituto Goiano de Radioterapia (IGR) was a private radiotherapy clinic in Goiânia which started operation in June 1971 and was owned by a medical partnership. The clinic's facilities included treatment rooms with caesium-137 and cobalt-60 teletherapy units.

At about the end of 1985 the IGR ceased operating from these premises and a new medical partnership took over the name and new premises. The cobalt-60 unit was transferred to the new premises, but ownership of the contents of the old clinic were a matter of dispute in the liquidation of the old partnership, and the caesium unit was left in the old clinic. CNEN were not informed and over the following months most of the clinic and surrounding properties were demolished as a prelude to proposed redevelopment of the site. The treatment rooms were not demolished but were left in a derelict state and were apparently used by vagrants. Some two years passed with the teletherapy unit left in this completely insecure situation.

Removal and Rupture of the Source

In the teletherapy unit the source was situated in a rotating assembly inside a shielded housing such that the source could be rotated to the 'expose' or 'safe' positions. The radioactive material was in the form of highly soluble caesium chloride, which was compacted to form a coherent mass, doubly encapsulated in stainless steel and placed in an 'international capsule' of standard dimensions. Although these days most caesium sources are in a vitrified form, the less desirable caesium chloride has to be used for teletherapy sources as the necessary specific activity cannot be attained with the vitrified form.

Around the middle of September 1987 two local people, R.A. and W.P. had heard rumours that valuable equipment had been left in the IGR. They went to the derelict site and worked with simple tools attempting to dismantle the teletherapy unit for scrap value. On 13 September they eventually managed to remove the rotating assembly and took it in a wheelbarrow to R.A.'s house. This must have given them access to the unshielded source, which would have given a dose rate of 4.6 Gy h^{-1} at 1 m. The next day they were both vomiting and W.P. who had a swollen hand, sought medical assistance. The symptoms were diagnosed as being due to some kind of allergic reaction caused by eating bad food. On 18 September they returned to working on the rotating assembly and in the garden of R.A. they managed to hammer a screwdriver through the 1 mm steel 'window' of the source capsule and thus rupture it. Subsequently a dose rate of

1.1 Gy h⁻¹ was measured close to the contaminated ground at this spot. As they did not seem to be making progress they sold the rotating assembly to 'Junkyard I', managed by D.F. That night he went into the garage where the assembly was stored and noticed a blue glow emanating from it. He was fascinated by this, thinking it might be valuable or even supernatural, and took it into the house to show his wife M.F.1. During the next few days many friends and relatives came to see this phenomena and several were allowed to dig out rice-sized 'grains' of the source, which could be easily crumbled into powder. Perhaps the most tragic example of this distribution was that of the fragments of the source taken by D.F.'s brother I.F. These were taken home and placed on the table during a meal. His 6-year old daughter L.F.2 handled them whilst eating by hand; she subsequently died having had an estimated intake of 1.0 GBq and having received an estimated dose of 6.0 Gy. After the distribution of the source fragments the assembly was cut up by two of D.F.'s employees I.S. and A.S., who subsequently died having received estimated doses of 4.5 and 5.3 Gy respectively. The various pieces were distributed to other junkyards.

During the period 13-28 September the activity was widely dispersed by a variety of means. Initially the activity was transported in discrete amounts by contaminated persons and items. However its highly soluble form and the climatic conditions combined to make the contamination highly mobile.

There were a number of reported instances of the powder being daubed on bodies because it looked like the glitter used in Mardi Gras celebrations. Undoubtedly the chemical form of the source and the blue glow phenomena had a profound effect on the development of the accident, which might otherwise have evolved like the Ciudad Juarez accident in 1983 which also involved a teletherapy unit taken for scrap. This phenomena had previously not been observed by source manufacturers, but the blue glow has subsequently been observed at Oak Ridge National Laboratory (USA) during the disencapsulation of a similar source and is thought to be associated with fluorescence or Cerenkov radiation due to absorption of moisture. Further study is in progress at Oak Ridge.

Discovery

By the 28 September a significant number of people were ill, including 10 in the Tropical Diseases Hospital, and the Junkyard manager's wife, was intuitively convinced that the glowing powder was the cause. She and one of her husband's employees took the remnants of the source, in a bag

carried over his shoulder, to the Vigilância Sanitária (a cross between a General Practice and the Public Health Department) and told them that it was "killing her family". She was ill and was sent to hospital and subsequently died having received an estimated dose of 4.3 Gy. The doctor did not know what the source remnant was and placed it in a courtyard while he made some enquiries. Meanwhile the patients in the Tropical Diseases Hospital were causing increasing concern to the doctors who could not identify the cause of the illness. Food poisoning, contact dermatitis and pemphigus were thought to be possible causes. However, one doctor started to suspect that the skin lesions might be due to radiation, and his enquiries of colleagues eventually came together with those from the Vigilância Sanitária. As a result, the next day, 29 September, a medical physicist who happened to be visiting the city and was known to one of those involved, was asked to investigate the package with a borrowed monitor. What he found astounded him. The package still contained about 4.5 TBq and a visit to 'Junkyard I' indicated areas of very high dose rate, and removable contamination that could be easily detected with a dose rate meter. On his own initiative he evacuated the Vigilância Sanitária and 'Junkyard I' with its surroundings.

INITIAL RESPONSE

The situation was reported to the State Authorities in Goiânia. As might be appreciated, the State officials were incredulous of the potential scale of the incident and it took the medical physicist some perseverance and several hours to get to see the State Secretary of Health and inform him of it. CNEN's emergency co-ordinator (NEC) in Rio de Janeiro was informed. He assigned tasks for the mobilisation of key personnel and then left for Goiânia to assess the situation. At this stage, whilst recognised as serious, the full extent and origins of the incident were not known.

Local response

The authorities in Goiânia mobilised the police, fire and civil defence forces and by 20:00 hrs had designated the nearby 'Olympic' stadium as a collection point and monitoring station. Meanwhile the physicist, together with help from the new IGR clinic continued monitoring both around the known areas of contamination and searching for new areas as the story of what had happened unfolded from the local residents. The initial segregation of people sent to the Olympic stadium was mainly based on those likely to have had contact with parts of the source, ie the relatives and neighbours of the principal characters.

Although no local plans existed for responding to such an emergency, the authorities' improvised strategy worked effectively in bringing the situation under some control and preventing further serious exposure. Once personnel from CNEN started to arrive the local authorities began to relinquish responsibility for control to them but continued to provide support.

CNEN response

With the large distances involved it was after midnight before the NEC and two technical support staff arrived. It was quickly evident to the NEC that the scale of the accident was extensive and beyond what had been initially thought. He therefore requested further assistance. By the following day, 1st October, there were some twenty experts available and four principal contamination sites (R.A.'s house and three junkyards) had been isolated. Over the next couple of days three more foci and some minor areas of contamination were identified and isolated. The monitoring team at the Olympic stadium had identified 249 people with detectable contamination of which 121 were internally contaminated. By 3rd October the initial phase of taking control had been completed.

Evacuation

Some 200 individuals were evacuated from 41 houses. Some of these had been evacuated by the lone medical physicist who had used an action level of $2.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$. This was simply the derived level for exposure of the public around occupational uses of radiation and was based on a limit of 5 mSv in a year and normal, not emergency, situations. Subsequently, although the CNEN team used a different exposure model (continuous exposure over a 3 month clean-up period) they also used the $2.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ action level still based on 5 mSv in a year. The IAEA report recognised the circumstances and the strong political pressures under which these decisions were taken but drew attention to the fact that different considerations apply in emergencies than in normal operations. In particular attention was drawn to two international reports[3,4], indicating that in an emergency evacuation need not normally be contemplated below a dose saving of 50 mSv and that the use of a more restrictive criterion might carry with it economic and social burdens (see also Summary).

MEDICAL RESPONSE

There are some parallels to previous accidents where radioactive sources ended up in the public domain and caused fatalities, viz Mexico City 1962, Algeria 1978 and Morocco 1983. Also there is the striking parallel of the Ciudad Juarez accident in Mexico in 1983 where there was significant whole body irradiation and the ensuing acute radiation syndrome, together with severe local radiation burns. This accident also resulted in external contamination of several individuals with cobalt-60; however, the levels were low and no significant internal contamination occurred. The Goiânia accident is unique in that the casualties incurred initial acute whole body external exposures followed by chronic whole body exposure at relatively low dose rates from internally deposited caesium-137. These exposures varied depending on the amount of time spent near the source and the amount of caesium-137 deposited internally. The situation was complicated by incomplete exposure histories and lack of information on exactly when the respective exposures began. Some external exposures were undoubtedly fractionated as a result of working and personal habits. In addition the more seriously exposed persons suffered acute local injury to the skin from beta irradiation and to deeper lying tissue from penetrating radiation.

Initial response

During the 30th September, three medical radiation specialists arrived in Goiânia and were faced with the 11 patients in the Tropical Diseases Hospital and 22 persons assembled in tents at the Olympic Stadium. They first went to deal with the latter group who had been identified on the basis of their relationship or proximity to the principal characters involved. They had all been significantly exposed and were contaminated both externally and internally. Contaminated clothing was removed and all were decontaminated by taking several baths with soap and water. Although subsequently several would have to be hospitalised, the initial triage indicated that the most pressing problem was not this group but those in the Tropical Diseases Hospital. This latter group had all experienced nausea, vomiting, diarrhoea, dizziness and fatigue, and all but one had some degree of radiation induced skin injuries. These patients were transferred to an evacuated ward of the Goiânia General Hospital and contamination control procedures introduced, together with a programme of blood, urine and faecal sampling. Internal contamination was confirmed by crude gross counting of the urine and faecal samples. Radiological surveys over skin lesions gave dose rates as high as 15 mSv h^{-1} close to

the skin, whilst 6 year old L.F.2 showed an average dose rate of 3 mSv h^{-1} close to the skin. Decontamination was performed on all patients using mild soap and water, acetic acid and titanium oxide. This was only partially successful and contamination control was a major problem throughout, as the caesium-137 was continually being excreted in the sweat, thus making the patients mobile regenerable contamination sources.

Over the next few weeks several more patients were admitted and arrangements were made to deal with some internally contaminated people as out patients. Between the 1st and 3rd October, 10 patients who had been identified as having the most serious problems were transferred by air to the Naval Hospital in Rio de Janeiro, which was the designated hospital to receive radiation casualties under the Emergency Plan for the Angra nuclear power plant.

Among the general medical community in Goiânia, the clinical laboratory staff there and in the Naval Hospital, there was a reluctance to help, arising out of some fear and concern for their personal health. This had to be overcome by personal reassurances and informal instruction from the medical radiation specialists.

Treatment of the acute radiation syndrome

Treatment of the most highly irradiated patients was directed at the assessment and management of the haematological crisis associated with the acute radiation syndrome. Here, apart from the clinical symptoms and the haematological data the doctors found useful inputs from -

- (a) patient interviews to help reconstruct the pattern of exposure,
- (b) dose estimates from cytogenetic techniques, and
- (c) assessments of internal contamination and associated doses.

The latter two are dealt with more fully in later sections and despite complications in the interpretation of these dose estimates they were useful in predicting the degree of haematological depression and the consequent degree of susceptibility to infection. On the basis of the results of cultures from blood, skin, wounds and body orifices and from their clinical courses patients were treated with systemic or topical antibacterial, antifungal or antiviral agents. Other aspects of the treatment included reverse isolation, attention to diet and the administration of irradiated red packed cells and platelet infusions. The clinical course and laboratory findings indicated that bone marrow transplantation was not required by any patient.

A departure from clinical practice in previous radiation incidents was the use of granulocyte macrophage colony stimulating factor (GMCSF) which was administered to 8 patients. The IAEA report concluded that before further use of this in actual radiological accidents, further experimental and clinical usage is required in order to clarify the questionable results of its use following the accident in Goiânia.

Between 23rd and 28th October, some four weeks after admission to the hospital, 4 of the casualties died (see Table 1). The post mortem examinations showed haemorrhagic and septic complications associated with the acute radiation syndrome.

Treatment of local injuries

Radiation induced skin injury was observed in 19 of the 20 patients in the two hospitals. Patients exhibited swelling, erythema, bronzing, dry desquamation and blistering. In the first week of October the majority of the skin lesions ruptured and secreted fluid; by 12th October they exhibited drying, sloughing and necrotic skin and re-epithelization, confirming the occurrence of superficial injury by beta irradiation. About three weeks later, this was followed by deep lesions in 10 of the 20 patients, indicative of gamma insult to deeper lying tissues. In one case amputation of the lower arm was necessary. Later a further five patients required surgical intervention, namely four debridements and one skin graft.

Acceleration of Decorporation

The Goiânia accident resulted in the highest levels of internal contamination with caesium-137 ever recorded; 1 GBq in the case of the 6 year old girl who died. Some 121 persons were found to have internal contamination and a major problem was to accelerate its decorporation. Of these, 62 were considered to have sufficiently high burdens to warrant the use of Prussian Blue, which had been recommended for such situations. Caesium nuclides would normally be excreted mainly in the urine (80%) as opposed to faeces (20%). The effect of Prussian Blue is to dramatically increase the rate of excretion in the faeces without significantly changing that in urine. This was found to be effective, as can be seen from Figure 1, but the dosages required were found to be higher than previously recommended. Other techniques such as diuretics, water overloading and enhanced sweating were also tried but without much success.

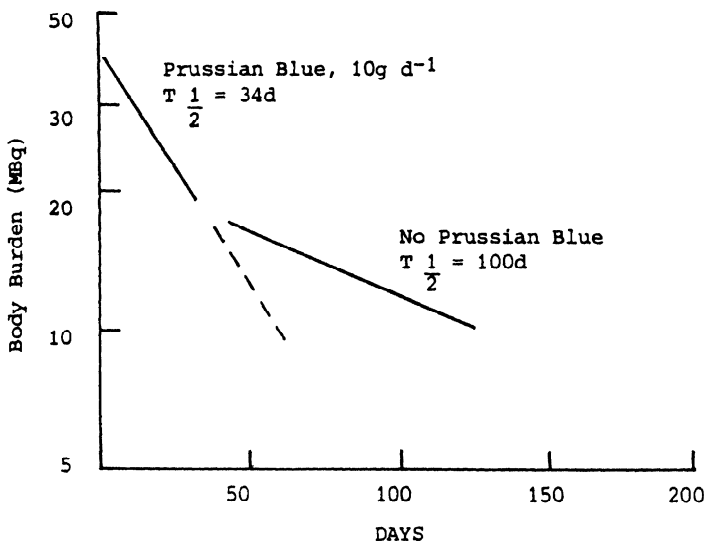


Figure 1 The impact on the effective half-life ($T_{1/2}$) of caesium-137 for an adult man who voluntarily stopped taking Prussian Blue.

Biological Dosimetry

In total, blood samples from some 110 people who were thought to have received doses in excess of 0.1 Gy, were sent to the cytogenetic facility at IRD (Rio de Janeiro) for dose estimates. Of these the dose estimates for 21 people exceeded 1.0 Gy with 8 above 4.0 Gy (see Table 1). These estimates were based on dose response curves derived at a high dose rate (0.12 Gy min⁻¹). As indicated earlier there is some doubt over the exposure pattern and in some instances the use of a lower dose rate curve might have been more appropriate. 'Over dispersion' in the distribution of chromosome aberrations, an indicator of non-uniform (partial body) irradiation, was found in a number of instances.

TABLE 1
Initial cytogenetic dose estimates
based on an acute exposure (0.12 Gy min^{-1})

	Person	Dose (Gy)	
	D.F.	Manager Junkyard I	7.0
	R.A.	Taker of source	6.2
	L.F.2	Niece of D.F. [Died]	6.0
	M.F.1	Wife of D.F. [Died]	5.7
	A.S.	Employees of D.F. [Died]	5.3
	I.S.	Worked on source [Died]	4.5
	E.F.2	Neighbour D.F.	4.4
	M.A.1	Mother-in-Law D.F.	4.3
	L.M.	Wife of Junkyard II worker	4.0
	G.S.	Employee of D.F., went to V.S.	3.0
	I.F.	Brother of D.F., Junkyard II Manager	3.0
	W.P.	Taker of source	2.7
	9 others received doses above 1.0 Sv		

Body burdens were initially estimated from urine and faecal samples using bioassay techniques and age specific metabolic models. For analysis these samples had to be transported to IRD in Rio de Janeiro, which for those patients in Goiânia introduced some delay in the results being available. Also the samples were highly active which introduced radiation protection problems and problems for the counting facilities which were designed for low level analysis. It was clear that whole body counting capabilities would have been desirable from an early stage. These existed at IRD but it was obviously not practicable to transport all the patients to IRD. Temporary whole body counting facilities had therefore to be arranged at both the Naval Hospital and the Goiânia General Hospital. These were in place by early November. They had to be capable of dealing with a very wide range of body burdens, as can be seen from the distribution in Figure 2. The whole body monitoring results confirmed the validity of the age specific models and bioassay analyses previously used.

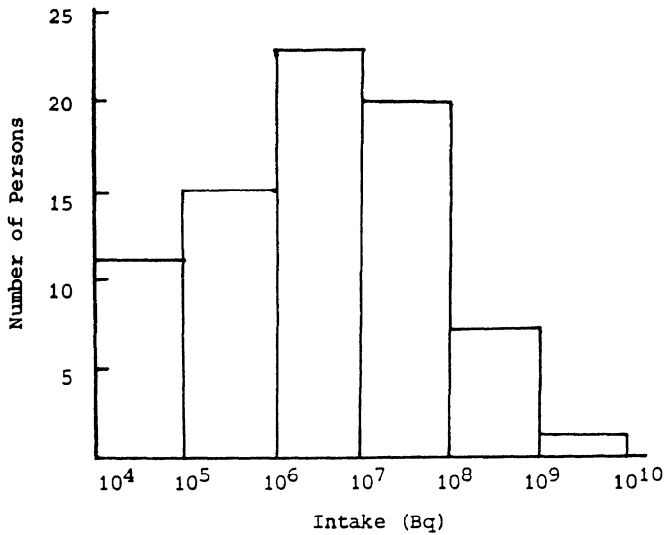


Figure 2 Distribution of the initial body burdens of caesium-137.

PHYSICAL CONSEQUENCES

By the 3rd October identification and control of the 7 main foci of contamination had been achieved. Eighty-five houses had been found to have a degree of contamination. To ensure that no major areas of contamination had been missed, an aerial survey by a suitably equipped helicopter was carried out shortly afterwards. This identified a further area giving rise to a dose rate of 21 mSv h^{-1} at 1 m above ground. The limitations of this technique, especially close to the main foci, were recognised and a system of monitoring using equipment mounted in a car was undertaken. To complement these techniques, the inhabitants of the contaminated premises were asked about visitors and their own movements during the relevant period. This indicated the potential transport routes for contamination and indeed some 42 other less contaminated sites were found.

Early on a strategic decision had been taken that no major decontamination would be undertaken until comprehensive surveys had been carried out and a coherent plan for the work had been drawn up. These surveys were carried out on foot using hand-held monitors. With the heavy rains experienced during the accident it had been initially expected that the

activity would have been washed into the soil and retained. The survey indicated that this was not the case. It seems that the high temperatures (up to 40°C) had quickly dried out the ground and high winds had caused resuspension. Indeed the scale of the effect came as a surprise, with for example contamination deposited on roofs of the single storey buildings being the main contributor to the dose rates indoors. Complementing this survey an extensive programme of environmental sampling of soil, vegetation, water and air was undertaken. Countermeasures were only necessary for soil and fruit and were limited to within a 50 m radius of the main foci.

Assessments were made of the resources and logistics in respect of personnel, hardware, disposable items, backup staff, etc. necessary for the decontamination. The difficulties in assembling all the necessary items over 1,000 km away from the major centres of radiological expertise were considerable. It was initially estimated that a decontamination programme would result in 4,000 to 5,000 m³ of active waste; 3500 m³ was eventually produced. This was a major problem area and the decisions on the type of containment, the location of the waste storage site, its planning and construction took more time than expected. Eventually a political decision was taken to choose a temporary repository site where the waste would be stored for up to 2 years. Only by mid-November did it become possible to start major decontamination work. This involved inter alia the demolition of 7 houses, the removal of areas of topsoil and the concreting over of some of these, the decontamination of cars, houses and contents. This phase was successfully completed by 21st December, allowing residents home for Christmas. From the New Year to the end of March 1988 further work was necessary to remove residual minor contamination that had been previously masked by the presence of the high level contamination.

At its peak the operation required some 250 professional and technical staff and 300 staff in support, transport, demolition, etc., in Goiânia, together with various laboratory based services in Rio de Janeiro. CNEN and its various Institutes, particularly IRD bore the major brunt of the work. It had required the setting up in Goiânia of an instrument repair and calibration facility to service the wide variety of monitoring instruments garnered from many establishments; provision of training in practical radiological protection, particularly monitoring techniques; a dedicated laundry to deal with contaminated clothing; facilities to manufacture the waste disposal containers; and a multitude of other specialised requirements. Health physics control of the

operation was obviously important and monitoring results showed that the maximum dose was 16 mSv with two-thirds of the people receiving less than 1 mSv.

PUBLIC COMMUNICATION AND SOCIAL PERCEPTIONS

On the night of the discovery of the accident, rumours spread about what had happened and were exacerbated the following morning when people woke up to find areas cordoned off with no coherent public explanation. Many people tried to go to the Olympic stadium for reassurance, straining the limited resources then available. The public and media interest multiplied manyfold and became a serious drain on the technical resources. In retrospect it is clear that from the beginning there was a need for a press officer, with appropriate support, to provide information to the public.

Public over-reaction to radiation accidents has been noted before, particularly after Three Mile Island and Chernobyl and has been referred to as 'radiophobia'. This was also much in evidence following the Goiânia accident. For example people who had been contaminated or in any way connected with the accident were treated as 'lepers', even within families. Indeed the 'clear of contamination' certificate from the monitoring station at the Olympic stadium became almost a prerequisite for acceptance in the community. In total some 112,000 people were monitored. This 'radiophobia' was not restricted to the general public but encompassed some of the local agencies and the medical profession. Perhaps the most bizarre example was the stoning of the coffins during the burial of the four casualties. The 'radiophobia' was not confined to Goiânia. Sales of the principal products of the state, cattle, cereals and other agricultural produce, and cloth and cotton products, fell by a quarter in the period after the accident.

In order to allay these fears the recovery teams were encouraged to explain to people what they were doing and why, and, for example to accept offers of drinking water and food from people's houses. They thus gained people's confidence and raised the credibility of official statements. Team workers made frequent appearances on television and talks on radiation protection were given to journalists to help them understand the situation better. A pamphlet was produced, "What you should know about radioactivity and radiation", and 250,000 copies were distributed. A telephone service operating 24 hours a day was set up to answer enquiries.

SUMMARY

Post accident reviews are mechanisms for feeding back experience into the systems of control and accident preparedness arrangements. Such reviews identify lessons to be learned and also often serve to illustrate and emphasize principles that are well known. The preceding sections have touched upon some of the relevant points arising from the Goiânia accident. These and other more general points are summarised below and it is hoped that these will help provide a focus for the rest of the meeting to look at the implications within a UK context.

Prevention and Mitigation of Consequences

- (1) The accident stemmed from an abdication of responsibilities over source security; as indeed have many other accidents. The wide dissemination of the story of Goiânia can do much to promote a responsible management attitude to radiation sources.
- (2) It is clear that the readily dispersable form of the radioactive material exacerbated the accident. This reinforces the point that whenever possible the physical and chemical forms of radioactive material that are not readily dispersable should be used in sealed sources. Also local contingency plans need to take the form of radioactive material into account.
- (3) The two people who initially dismantled the teletherapy unit displayed symptoms of the acute radiation syndrome at an early stage of the accident. If they, or the subsequent people seeking medical aid had been correctly diagnosed then the extent of the accident might not have been so great. This difficulty in diagnosis of the rarely seen effects of exposure to radiation is typical of such accidents. In the past, medical diagnoses have included insect, spider and snake bites, viral infection and exposure to toxic chemicals. The IAEA has previously recognised this problem and produced a publication[5] on this topic. The dissemination in the medical sector of this document and the Goiânia case history would seem to be of value.

Initial Response

- (4) To cover radiological accidents affecting the public there should be a well known system for summoning assistance (preferably locally) and for notifying relevant authorities. In the UK the NAIR scheme meets these requirements.

- (5) As with any major emergency, eg flood, explosion etc, local authority plans for dealing with emergencies will provide invaluable support to those specialists dealing with the emergency.
- (6) In such accidents there is usually a tendency, prompted by political and social considerations, to impose extremely restrictive criteria for the implementation of countermeasures. These actions carry with them a substantial economic burden and possibly introduce conventional hazards. This emphasises the need for establishing beforehand clear standards for use in the event of such accidents based on a thorough study of all the issues involved. The updating of emergency reference levels is currently being addressed by the NRPB[6].
- (7) Clearly, to avoid placing a drain on the resources of the people trying to deal with the consequences of an accident and to limit the extent of public concern, emergency preparedness arrangements must include adequate provision for meeting the information needs of the public and the media.

Medical

- (8) The accident demonstrated the value of
 - (i) having physicians who had received specific training in dealing with radiation casualties
 - (ii) having international agreements through which specialist help can be provided, and
 - (iii) inputs from cytogenetic dose estimates, whole body monitoring and bioassay.
- (9) This was the first time that really extensive use has been made of Prussion Blue to accelerate the decorporation of caesium from the body. This produced very good metabolic data which showed the efficiency of the treatment, albeit at higher dosages than previously recommended.
- (10) In managing a radiological accident, readily transportable equipment for whole body monitoring and bioassay may be need in addition to permanent dedicated facilities.
- (11) A single centralised nominated hospital to deal with severe radiation casualties may not be sufficient to cope with the numbers affected in an accident on the scale of Goiânia. It may be necessary to have arrangements that would allow all but the most seriously affected patients to be treated more locally.

- (12) The IAEA report included the following statement on the type of hospital that should be designated to deal with radiation casualties, "The therapy of casualties of radiological accidents in modern times is varied and complicated. Such patients must be cared for by hospital staff who are engaged on a daily basis in the haematological, chemotherapeutic, radiotherapeutic and surgical treatment of patients at risk from cancer, immunosuppression and blood dyscrasias."

Recovery Operations

- (13) In the response to an accident of this scale there will be a need to engage professional expertise from a wide range of organisations, to define clearly the chain of command and to establish the logistical backup to assemble the necessary resources.
- (14) The accidents in both Goiânia and Ciudad Juarez produced large volumes of active waste. In such cases the management of the waste will be central to the recovery programme and will significantly affect its timescale. Appropriate contingency plans for dealing with such volumes of waste are necessary.

Considerable effort has been devoted to the development of plans to deal with nuclear accidents and these efforts have intensified at both national and international level following the Chernobyl accident. Other types of radiological emergency have received much less attention, but the Goiânia accident has shown the potential scale of the consequences of accidents in this area. The IAEA report therefore emphasises that preparedness to deal with emergencies should be extended to cover the entire range of possible radiological accidents.

CONCLUSION

The Goiânia accident fundamentally stems from an abdication of responsibilities over source security, and the story graphically shows the consequences of laxity in this important area. There are many other lessons to be learnt from, or reinforced by, the accident. Many of these could not be included in this article, but are in the IAEA report[2]. We must learn from our mistakes and the story of the Goiânia accident has much to commend itself as an element in training programmes at all levels and through a wide range of disciplines.

The Brazilian authorities responded very well to dealing with the accident, but as they themselves identify in the IAEA report, there were facets that could have been dealt with better. Their openness and willingness to co-operate with IAEA in a post-accident review, as was also the case with the USSR after Chernobyl, must be strongly commended and it is hoped that in future other national authorities will emulate this.

REFERENCES

1. I.A.E.A., Nuclear Safety Review for 1987, IAEA Vienna, 88.
2. I.A.E.A., The Radiological Accident in Goiânia, STI/PUB/815, IAEA Vienna, 1988.
3. I.C.R.P., Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accidents: Principles for Planning, Publication 40, Pergamon Press, Oxford (1984).
4. I.A.E.A., Principles for Establishing Intervention Levels for the Protection of the Public in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency, Safety Series No. 72, IAEA Vienna (1985).
5. I.A.E.A., What the General Practitioner (MD) should know about medical handling of overexposed individuals, IAEA-TECDOC-366, Vienna 1986.
6. Hill M D, Wrixon A D, and Webb G A M. Protection of the public and workers in the event of accidental releases of radioactive materials into the environment, J. Radiol. Prot. 1988. Vol 8 No. 4, 197-207.

RESUME

L'accident de Goiania est un des accidents les plus graves dus aux radiations ionisantes. Les antécédents, l'accident, les effets immédiats et éloignés sont passés en revue. Une importance particulière est accordée aux conséquences sur le plan médical et aux actions entreprises pour y faire face. Les opérations de décontamination sont néanmoins décrites dans leurs aspects essentiels. Les leçons tirées de cet accident sont brièvement exposées.

SAMENVATTING.

Het Goiania ongeval was een van de meest ernstige stralingsongevallen die zich ooit hebben voorgedaan. In deze uiteenzetting worden achtereenvolgens de antecedenten, het ongeval en de vroege en latere gevolgen beschreven. De nadruk wordt gelegd op de medische gevolgen en de wijze waarop deze behandeld werden. Desalniettemin worden de belangrijkste stappen in de radioactieve ontsmetting weergegeven. Als slot worden uit dit ongeval enkele belangrijke lessen getrokken.