

Annalen
van
de Belgische Vereniging
voor
Stralingsbescherming

VOL. 6 N° 3 - 4

1981

Driemaandelijkse
uitgave

Publication
trimestrielle

Annales
de
l'Association Belge
de
Radioprotection

Hoofdredacteur

Dr M.H. FAES
S.C.K./C.E.N.
2400 Mol.

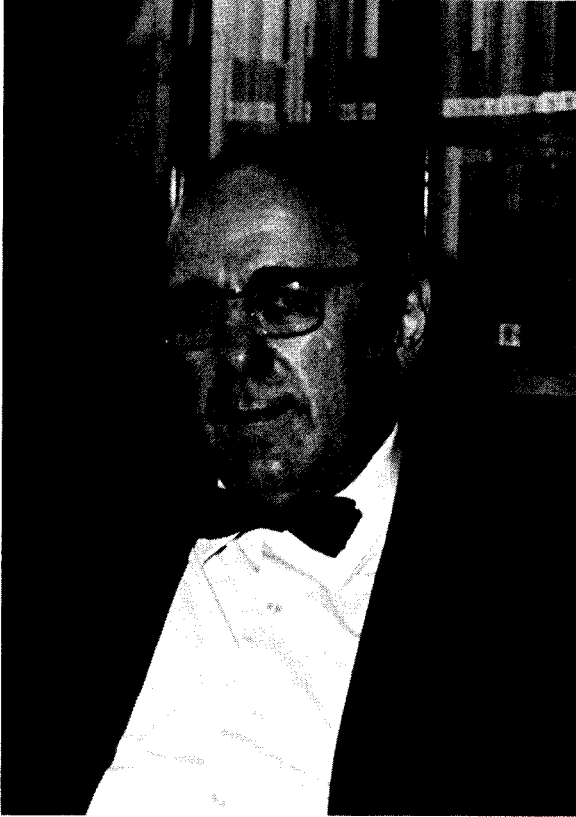
Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat

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

Secrétaire de rédaction

I N M E M O R I A M



Prof. Samuel H A L T E R

La disparition quasi inopinée du Professeur HALTER, Secrétaire Général du Ministère de la Santé Publique et professeur à l'Université Libre de Bruxelles a plongé sa famille dans une profonde affliction et consterné ses nombreux amis.

Son décès est survenu le 13 juillet 1981 après une intervention chirurgicale mineure. Il a été enlevé à l'affection des siens 4 mois avant sa mise à la retraite, en qualité de fonctionnaire et de professeur d'université.

Né en 1916 à Genève où son père était horloger spécialiste, le tout jeune Samuel HALTER accompagna sa famille qui vint s'installer en Belgique dès 1920 où il entama en 1934 des études de médecine à l'Université Libre de Bruxelles où il fut proclamé avec grande distinction docteur en médecine, chirurgie et accouchement en juillet 1941. Cette même année, il fut lauréat du concours universitaire pour des recherches d'embryologie. Il s'évada de la Belgique occupée et après une longue captivité dans les prisons espagnoles, à Vigo et à Miranda, il rejoignit en 1943 les forces belges en Grande-Bretagne. De 1943 à 1945, il assura la direction du service médical de la marine belge à Liverpool. A son retour en Belgique, il ne retrouva que son frère, évadé d'un camp de concentration, ses parents étant morts en déportation.

Il oriente sa pratique professionnelle vers les divers aspects de la médecine préventive et en 1946, il obtient à l'Université Libre de Bruxelles, le grade de médecin hygiéniste. Dès 1945, il entre au service de l'Etat, au Ministère de la Santé Publique, à l'administration de l'hygiène publique en qualité d'inspecteur d'hygiène. Il consacre ses activités spécialement dans le domaine hospitalier et il est avec quelques précurseurs l'initiateur d'une politique cohérente dans ce domaine, en insistant notamment sur l'intérêt d'une planification sanitaire.

Il remplit dans divers cabinets ministériels le rôle de conseiller, en 1957 il est nommé directeur général de l'administration de l'hygiène publique et depuis 1969, il était parvenu au sommet de la carrière administrative en y occupant les fonctions de Secrétaire Général du Ministère de la Santé Publique.

Parallèlement à sa carrière administrative, il a poursuivi une carrière académique. Dès 1952, il est chargé à l'Université Libre de Bruxelles du cours de législation et d'organisation sanitaires. La clarté de ses exposés, sa connaissance approfondie des problèmes de santé publique a amené l'université

Het kortstondig heengaan van Professor HALTER, Sekretaris Generaal van het Ministerie van Openbare Gezondheid en professor aan de Université Libre de Bruxelles heeft zijn familie in diepe droefheid en zijn vrienden met ontroering gesteld.

Hij overleed op 13 juli 1981 na een kleine heelkundige ingreep. Hij werd aan de toegegenenheid van familie en vrienden ontnomen 4 maandv or zijn op-ruststelling als funktionaris en universiteitsprofessor.

Samuel HALTER werd geboren in 1916 in Geneva waar zijn vader als deskundige uurwerkmaker bedrijvig was. Op jeugdige ouderdom kwam hij met zijn familie naar België in 1920 waar hij in 1934 geneeskunde studeerde aan de Université Libre de Bruxelles waar hij in juli 1941 met grote onderscheiding als dokter in de geneeskunde, promoveerde. In datzelfde jaar, werd hij voor zijn opzoekingen in de embryologie bekroond van de universitaire prijskamp. Hij vluchtte uit het bezette België en na een lange gevangenschap in de Spaanse kampen van Vigo en Miranda, vergezelde hij in 1943 de Belgische strijdkrachten in Groot-Brittanje. Van 1943 to 1945, nam hij de leiding waar van de medische dienst van de Belgische zeemacht te Liverpool. Bij zijn terugkeer in België vond hij alleen zijn broer terug die uit een konzentratie kamp gevlucht was ; zijn ouders waren in verbanning overleden.

Zijn beroepsaktiviteit richt hij sindsdien naar de diverse aspekten van de preventieve geneeskunde en in 1946 haalt hij aan de Université Libre de Bruxelles, de graad van geneesheer-hygiënist. In 1945, treedt hij in staatsdienst in het Ministerie van Openbare Gezondheid in de Administratie van Openbare Hygi ne als inspekteur voor de hygi ne. Zijn werkzaamheden worden in het biezonder gericht naar de ziekenhuizen en met enkele andere voorlopers is hij de baanbreker voor een samenhangende politiek op dit vlak in het biezonder door zijn verdediging van de nood voor een gezondheidsplanifikatie.

Hij maakt deel uit als raadgever van verschillende ministeriële kabinetten. In 1957, wordt hij als direktEUR generaal benoemd van de Administratie van de Openbare Hygi ne en sinds 1969, beklimt hij de hoogste trap van zijn administratieve loopbaan als sekretaris-generaal van het Ministerie van Openbare Gezondheid.

Gelijklopend met zijn administratieve loopbaan volgt hij een academische loopbaan. Sinds 1952, is hij gelast aan de Université Libre de Bruxelles met de kursus sanitaire wetgeving en organisatie. De helderheid van zijn uiteenzettingen, zijn diepe kennis van de openbare gezondheidsproblemen heeft de universiteit

à lui confier des tâches d'enseignement de plus en plus lourdes. Nommé professeur extraordinaire en 1960, il accéda à l'ordinariat en 1967 et lors de la séparation de l'U.L.B. et de la V.U.B., il donna durant quelques années ses enseignements dans les deux universités, donc dans les deux langues, français et néerlandais.

Le Professeur HALTER fut nommé Président du Fonds national de la Recherche scientifique médicale, dont il réforma les orientations en y donnant une place importante et justifiée à l'épidémiologie et en favorisant les recherches interdisciplinaires et interuniversitaires. Il était membre correspondant de l'Académie de Médecine et sur le plan international, il a eu une action déterminante au niveau de l'Organisation mondiale de la Santé qui, en 1980, lui avait attribué sa récompense suprême : le Prix de la Fondation Léon Bernard.

Diverses instances internationales et nationales ont rendu hommage au Professeur HALTER et ma brève communication se borne à évoquer son rôle éminent dans le domaine de la radioprotection.

Remontons dès lors en 1957, année de la signature du Traité de Rome par lequel fut créé l'Euratom, institution européenne communautaire ayant pour but de développer les applications pacifiques de l'énergie atomique. A partir des normes de base promulguées par l'Euratom, les états membres, dont la Belgique, adaptèrent ou créèrent selon le cas, des dispositions réglementaire en conformité avec ces normes. Il s'agit, entre autres, de l'Arrêté Royal du 28 février 1963 portant Règlement général de protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes.

Le Professeur HALTER, en sa qualité de directeur général de l'Administration de l'Hygiène publique prit une part prépondérante à l'élaboration de cet arrêté et après avoir pris l'initiative de consulter des personnes de diverses disciplines intéressées aux multiples aspects de la radioprotection, il écrivit à celles-ci le 3 avril 1963 une lettre qui figure dans nos archives, lettre par laquelle il proposait une réunion en vue de créer une société belge de radioprotection, société savante de caractère pluridisciplinaire. Il fut donc membre fondateur de notre société qu'il présida avec son dynamisme et sa maîtrise coutumière. Il fut également membre fondateur de l'IRPA qui, comme on le sait, est l'association internationale qui groupe les sociétés de radioprotection. Je me souviens de m'être rendu à Paris avec lui et en compagnie de mes collègues RECHT et LAFONTAINE, en décembre 1964 en vue de participer aux discussions préliminaires à la création de l'IRPA.

ertoe gebracht hem meer en meer onderwijstaken toe te vertrouwen. Buitengewoon hoogleraar in 1960, wordt hij ordinarius in 1967 en bij de splitsing tussen U.L.B. en V.U.B. geeft hij nog gedurende enkele jaren zijn lessen in beide universiteiten in beide landstalen.

Professor HALTER werd voorzitter van het Nationaal Fonds voor Geneeskundig wetenschappelijk Onderzoek waarvan hij de orientaties aanpaste door aan de epidemiologie een meer belangrijke en gerechtvaardigde plaats toe te schrijven en de interdisciplinaire en interuniversitaire opzoekingen te bevorderen. Hij was korresponderend lid van de Akademie voor Geneeskunde en op internationaal vlak voerde hij beslissende acties langs de Wereldgezondheid Organisatie die hem in 1980 met de hoogste onderscheiding bekroonde : de Prijs van de Stichting Leon Bernard.

Diverse internationale en nationale instanties hebben Professor HALTER hulde gebracht en mijn korte kommunikatie beperkt zich tot het aanhalen van zijn voortreffelijke rol op het vlak van de radioprotektie.

Laat ons teruggaan tot 1957 : het jaar waar het Verdrag van Rome getekend werd gevolgd door de stichting van Euratom, stichting van de Europese Gemeenschap met als doel de vreedzame toepassingen van de kernenergie te ontwikkelen. Vanuit de basisnormen die door Euratom als richtlijnen gegeven werden hebben de lidstaten waaronder België de reglementen aangepast of uitgebreid konform met deze normen. Hieronder vindt men o.m. het Koninklijk Besluit van 28 februari 1963 dat geldt als Algemeen reglement voor de bescherming van de bevolking en van de werknemers tegen het gevaar van de ioniserende stralen.

Professor HALTER, als directeur-generaal van de Administratie van de Openbare Hygiëne was voor een groot deel verantwoordelijk voor het opstellen van dit besluit en nadat hij verschillende personen vanuit de disciplines verbonden met de talrijke aspecten van de radioprotektie had geraadpleegd, schreef hij hun op 3 april 1963 een brief die steeds in ons bezit is, waardoor hij een samenkost voorstelde met als doel het oprichten van een belgische vereniging voor stralingsbescherming, wetenschappelijke vereniging met een pluridisciplinair karakter. Zo werd hij stichtend lid van onze vereniging waarvan hij voorzitter werd met zijn alombekende dynamisme en meesterschap. Hij werd eveneens stichtend lid van de IRPA, de international federatie van de nationale verenigingen voor stralingsbescherming. Ik herinner mij nog een reis naar Parijs met hem en met mijn collega's Recht en Lafontaine, in december 1964 bij welke gelegenheid wij deelnamen aan de voorafgaande diskussies vóór het oprichten van de IRPA.

Le Professeur HALTER était doué d'une intelligence supérieure, il avait un esprit de synthèse remarquable, servi par une excellente mémoire. Travailleur infatigable, il avait mis ses brillantes qualités intellectuelles au service de ses semblables. Il était déterminé et énergique, fidèle dans ses amitiés et respectueux de l'opinion d'autrui. Il remplissait avec zèle et talent les multiples fonctions qu'il assumait, suscitant sympathie et admiration.

Il n'est pas exagéré d'affirmer que son rôle fut essentiel en Belgique pour la création d'une industrie nucléaire nationale. En effet, il y a une vingtaine d'années, lors des premiers développements des applications pacifiques de l'atome, il aurait été plus facile au nom de la prudence et de la protection des populations de faire adopter par le pouvoir politique et par l'opinion publique une attitude consistant uniquement à faire construire des centrales nucléaires "clefs sur porte". Les vérifications auraient alors eu pour but de contrôler la conformité stricte de la réalisation par rapport aux plans initiaux. Une telle attitude, le Professeur HALTER, homme d'action, ne l'a pas adoptée et il faut voir notamment dans la création de notre société, un trait caractéristique de son caractère : celui d'aborder concrètement et avec un sens aigu des responsabilités les problèmes tels qu'ils se présentent. Ainsi, grâce à lui, tous ceux qui s'intéressaient aux multiples problèmes de la maîtrise de l'atome ont trouvé dans notre société l'occasion de développer leurs connaissances et de trouver une tribune, où dans une ambiance cordiale, il est possible de faire partager aux autres les joies, les espoirs mais aussi parfois les craintes suscitées par le progrès.

Le regretté Professeur HALTER avait rempli de nombreuses missions à titre d'expert et de consultant pour l'Euratom, l'O.C.D.E. (Organisation de Coopération et de Développement économiques), l'A.I.E.A. (Agence internationale de l'Energie atomique), l'O.M.S. (Organisation mondiale de la Santé) et il avait consacré de nombreux rapports et publications scientifiques en relation avec la radioprotection (problèmes de santé en rapport avec l'autorisation des installations nucléaires, la protection des eaux contre les radiations, le choix des sites nucléaires, etc.).

Telles sont, Mesdames et Messieurs, les raisons pour lesquelles la disparition du Professeur HALTER constitue une perte immense car un homme de coeur, un homme d'action, entièrement dévoué au bien public est disparu à jamais. Puisse le souvenir de cet homme d'exception être un exemple pour nous tous.

Professeur P. HUBLET,
Président de l'Association belge de Radioprotection.

Professor HALTER was begaafd met een hoog verstand, een merkwaardige zin voor synthese, en een biezonder goed geheugen. Onvermoeibare werker hij had zijn biezondere verstandelijke begaafdheid ten dienste gesteld van zijn medemensen. Hij was beslist en krachtig, trouw in zijn vriendschap en respektvol voor anders mening. Hij vervulde met toewijding en talent zijn verschillende funkties waardoor bewondering en sympathie ontstonden.

Men overdrijft niet als men zegt dat hij een essentiële rol vervulde in ons land bij de stichting van een nationale kernindustrie. Inderdaad over een twintigtal jaren ter gelegenheid van de eerste ontwikkelingen van de vreedzame toepassingen van de atoomkrachten, zou het makkelijker geweest zijn zich te beroepen op voorzichtigheid en bescherming van de bevolking om door de politieke instanties en de publieke opinie een houding te doen aannemen waardoor enkel "sleutel op de deur" kerncentrales zouden gebouwd worden. In dit geval zouden de verifikaties enkel als funktie gehad hebben na te gaan of de uitvoering strikt konform was met de initiele plannen. Professor HALTER als man van de daad, nam deze houding niet aan en zo vindt men eveneens zijn karaktertrekken in de stichting van onze vereniging : konkreet en met een hoge verantwoordelijkheidszin de problemen aanpakken zoals zij zich voorstellen. Dank zij hem, hebben al diegenen die interesse voelen voor de problemen gesteld door het beheersen van het atoom in onze vereniging een gelegenheid gevonden om hun kennis uit te breiden en een tribune waar in een kordiale sfeer, het mogelijk is met anderen de vreugden, de hoop en soms de vrezen die de voorspoed meebrengt te delen.

Professor HALTER heeft talrijke zendingen als expert of konsultant voor Euratom, de O.E.S.E., de I.A.E.A., de W.G.O vervuld, hij heeft talrijke verslagen en wetenschappelijke publikaties geschreven in verband met de stralingsbescherming (gezondheidsproblemen in verband met de vergunning voor kerninstallaties, bescherming van de wateren tegen de radioaktieve besmettingen, keuze van de liggingen van de kerninstallaties...).

Dit alles, Damen en Heren, is de rede waarom het verdwijnen van Professor HALTER een groot verlies vertegenwoordigt want een man met een hart, een man van de daad, met volle toewijding aan het openbare welzijn, is voor goed heengegaan. Dat de herinnering aan deze buitengewone man een voorbeeld weze voor ons allen.

Professor P. HUBLET,
Voorzitter van de Belgische Vereniging voor
Stralingsbescherming.

INHOUD

SOMMAIRE

Dit nummer bevat de teksten van uiteenzettingen gedaan op 17 oktober 1980 te Gent, ter gelegenheid van de XXe Nationale Dagen van de Arbeidsgeneeskunde, gesamenlijk ingericht door de Belgische Beroepsvereniging voor Arbeidsgeneesheren en de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming.

Ce numéro contient les textes des exposés faits à Gand le 17 octobre 1980 à l'occasion des XXe Journées Nationales de Médecine du Travail, organisées conjointement par l'Association Professionnelle des Médecins du Travail et l'Association Belge de Radioprotection.

ARBEIDSGENEESKUNDE IN VERZORGINGS-
INSTELLINGEN - IONIZERENDE STRA-
LINGEN.

MEDECINE DU TRAVAIL DANS LES INSTI-
TUTIONS DE SOINS - RADIATIONS
IONISANTES.

- J. GARSOU, A. SMONS, J. GUILLAUME, M.L. MAUGUIS,
A. MARTIAL, Ph. BAILLOT :

Radio- et curiethérapie. Techniques et tendances
actuelles. Un aperçu. 123 - 148

- M.J.K. DE ROO :

Stralingsgevaar in de nucleaire geneeskunde. 149 - 164

- Ch. J. FALLAIS :

Radioimmunoassay. 165 - 178

- J. DELHOVE :

Le contrôle physique des radiations ionisantes dans
les applications médicales. 179 - 194

- L. de THIBAUT de BOESINGHE :

Medisch toezicht van het personeel dat aan ioniserende
stralingen blootstaat. 195 - 202

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 6, n°3-4 (1981).

RADIO- ET CURIETHERAPIE. TECHNIQUES ET TENDANCES ACTUELLES.
UN APERCU.

J. GARSOU, A. SMONS, J. GUILLAUME, M.L. MAUGUIS, A. MARTIAL, Ph. BAILLOT.

Service Universitaire de Contrôle Physique des Radiations,
Université de Liège,
Dir. : J. GARSOU, Agrégé.

Reçu le 7 novembre 1980.

RESUME

En radiothérapie transcutanée, l'évolution des techniques marquée par une modération de la course aux hautes énergies de photons, l'amélioration de la précision des données du calcul des traitements, un développement de systèmes sophistiqués d'application des faisceaux à des lésions de forme complexe et la mise en oeuvre de faisceaux de n rapides, ions accélérés et pions négatifs tend vers une meilleure radioprotection du patient.

En curiethérapie, le remplacement du Ra par le ^{137}Cs pour des irradiations gamma locales (en gynécologie) et par le $^{90}\text{Sr-Y}$ pour des irradiations bêta in situ diminue remarquablement les doses du personnel.

INTRODUCTION

Comment se présentent actuellement les techniques de radio- et curiethérapie, quelle peut être leur évolution, de même que leur répercussion sur la radioprotection du patient, du personnel et de l'environnement : tel est notre propos. Nous nous intéresserons d'abord à la radiothérapie transcutanée, la source de radiations étant externe au corps, ensuite à la curiethérapie, radiothérapie intracavitaire et interstitielle, la source étant interne au corps.

I. RADIOTHERAPIE TRANSCUTANEE

- a) Ajustement de la course aux hautes énergies (photons).
- b) Amélioration de la précision des données du calcul des traitements.
- c) Développement de systèmes d'applications des faisceaux

marquent l'évolution actuelle : nous envisageons ces points successivement.

a) Ajustement de la course aux hautes énergies (photons)

Nous avons assisté à la mise en oeuvre de bombes à ^{60}Co , de bétatrons, d'accélérateurs linéaires. Par rapport aux rayons X dits conventionnels qui existaient auparavant, ces installations produisent des radiations de plus en plus pénétrantes : le rendement à une profondeur donnée (rapport de la dose absorbée en profondeur à la dose absorbée au niveau du maximum de dose) augmente avec l'énergie; ces rayonnements atteignent donc des tumeurs de plus en plus profondes avec de meilleurs rendements (Fig. 1).

La limitation en énergie des faisceaux s'explique par le fait que dans la plupart des cas, une tumeur profonde est atteinte par la combinaison d'au moins deux faisceaux.

Lorsque les champs sont opposés, ils doivent contribuer à donner un rendement à une tumeur centrale supérieur au rendement observé à l'entrée de chaque faisceau. C'est ainsi qu'il semble actuellement qu'une énergie de photons supérieure à 20 MV ne soit pas particulièrement utile (il faut toutefois noter que les courbes de rendement en profondeur pour une énergie donnée sont différentes dans le cas d'un bétatron ou d'un accélérateur linéaire à cause de la nature différente des corps égalisateurs des faisceaux. Johns H.E. et Rawlinson J.A.) {1}. La figure 2 donne pour un corps de l'épaisseur de 20 cm, la variation du rendement pour deux champs opposés de poids égaux obtenus avec des énergies différentes.

Les champs présentent des définitions plus nettes : la pénombre géométrique est quasi nulle avec les sources ponctuelles des machines, ce qui accroît la précision de la balistique surtout dans les champs étroits.

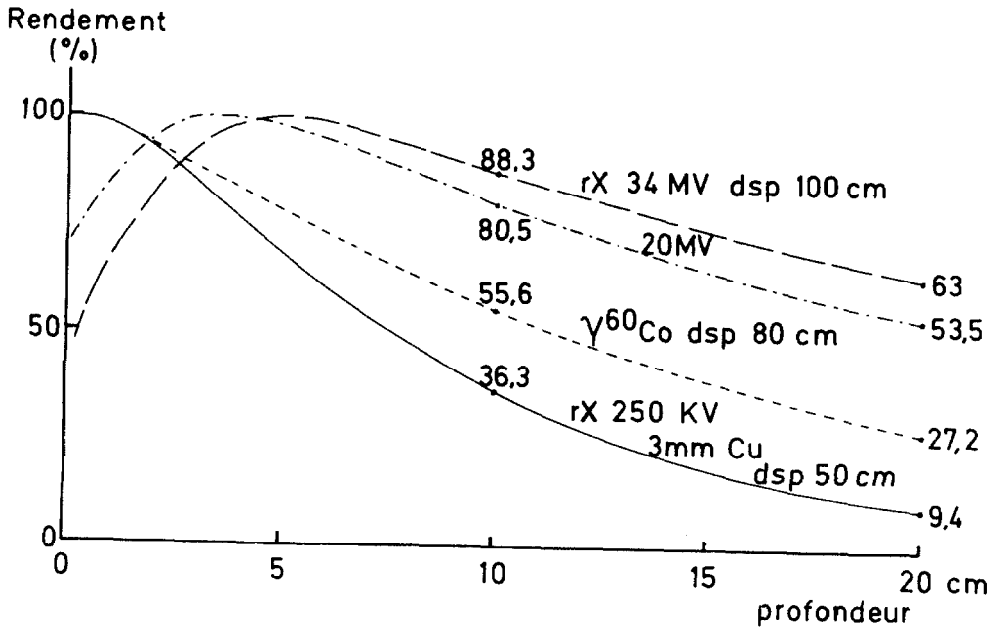


Fig. 1. Courbes de rendement en profondeur relatives à des faisceaux de rayons X de 250 kV (3 mm Cu), gamma de ^{60}Co , X de 20 et 34 MV formant des champs de 10 x 10 cm à la peau (Brit. Journ. Radiol. suppl. n° 11). Les pourcentages de dose absorbée à 10 et 20 cm de profondeur passent respectivement de 36,3 à 88,3 et de 9,4 à 63 : l'accroissement de la distance source-peau (dsp) de 50 à 100 cm ne peut rendre compte à lui seul du relèvement de ces pourcentages : l'augmentation de l'énergie des faisceaux en est le principal facteur.

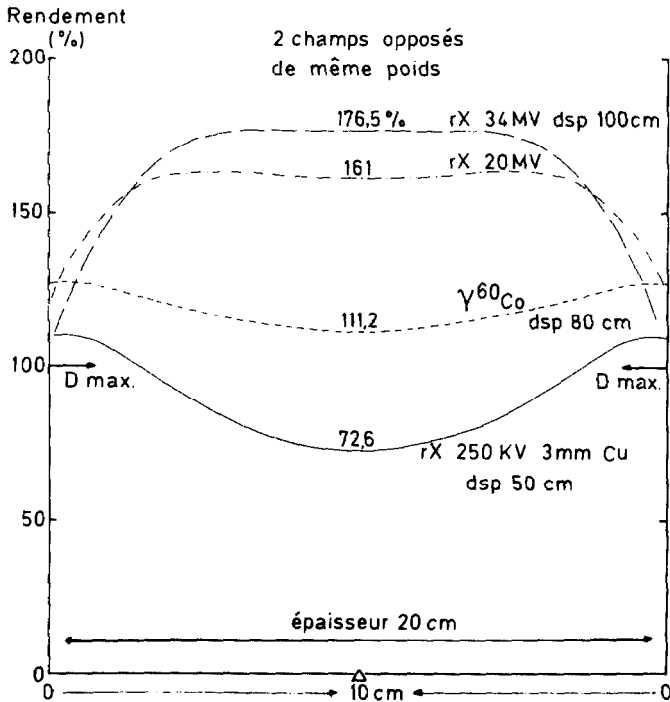


Fig. 2. Variation selon le diamètre d'un corps de 20 cm, du rendement global résultant de deux champs opposés de 10 x 10 cm donnant chacun une dose normalisée à 100 % au niveau de dose maximale : tandis que, dans le cas des rayons X de 250 kV (3 mm Cu) et des rayons gamma du ^{60}Co , le rendement global au centre du corps est inférieur à sa valeur dans les couches superficielles à l'entrée de chacun des deux faisceaux; il est nettement supérieur dans le cas des rayons X de 20 et 34 MV.

Les champs disponibles sont plus grands : on obtient jusqu'à 40 x 40 cm à 1 m de la source avec la plupart des installations modernes ce qui évite l'association des petits champs juxtaposés dont les jonctions doivent être réalisées avec le maximum de précision.

Parallèlement, sont apparus des faisceaux d'électrons d'abord jusqu'à 45 MeV environ jusqu'en 1965. On a assisté également à une rétrogradation des énergies en sorte que l'énergie maximale des électrons est en pratique actuellement de 10 MeV.

On note également diverses installations d'irradiation par neutrons rapides. Un excellent exemple en est donné par l'U.C.L. La raison du recours aux neutrons rapides réside dans un EBR plus élevé et un OER plus faible par rapport aux photons et aux électrons. Une expérience est actuellement bien acquise avec les neutrons obtenus par bombardement de deutons de l'ordre de 15 MeV sur du Béryllium. Il semble se dégager à l'heure actuelle que les conditions optimales d'irradiation tendraient vers l'exploitation de neutrons obtenus par bombardement de deutons d'énergie de l'ordre de 50 MeV sur du Béryllium ou de neutrons d'énergie équivalente. Cette disposition de neutrons rapides requiert l'investissement, assez lourd, d'un cyclotron.

Enfin, il faut citer que quelques centres expérimentaux disposent d'ions lourds accélérés ou de pions négatifs, ces derniers se présentant comme formant le faisceau idéal de radiothérapie, mais la production d'un tel faisceau est grevée d'un investissement qui s'élèverait au-delà de 1 milliard de francs belges (J. Garsou, 1977) {2}.

N.B. : Dans le contexte de la radioprotection, il faut garder une mention spéciale pour les installations de contact-thérapie dont les tubes travaillent à très courte distance source-peau et émettent un débit de dose élevé; le champ d'irradiation diffuse un rayonnement latéral très intense.

b) Amélioration de la précision des données de calcul

 des traitements

Si l'on considère que tous les éléments qui concourent à accroître la précision des traitements radiothérapeutiques augmentent également les conditions de radioprotection du patient, il convient de citer que des techniques récentes (CT Scanner par exemple) ont introduit une amélioration appréciable de la précision dans la prise du contour du patient et dans la délimitation du volume tumoral et des organes critiques, dans l'approche de la détermination de la masse volumique de la tumeur et des organes influant sur l'atténuation du faisceau. Les programmes de calcul des traitements par ordinateur ont été nettement améliorés des quinze dernières années et l'on remarque des essais de programme d'optimisation des traitements {3}.

c) Systèmes d'application des faisceaux pour tumeurs

 de volume complexe

Des techniques telles que celle de tracking et de mise en forme et atténuation synchrone du faisceau permettent d'accroître la précision géométrique du faisceau et par conséquent contribuent à la protection du patient {3}.

Répercussion sur la radioprotection

.....

Nous envisageons la répercussion sur la radioprotection du patient, du personnel et de l'environnement.

Patient

.....

Un résultat positif a donc été obtenu dans une meilleure adaptation du faisceau au volume-cible en ce qui regarde la précision géométrique; on a obtenu ou recherché des efficacités physique et biologique meilleures en profondeur.

Par contre, il ne faut pas se dissuader de l'importance du rayonnement diffusé à distance du champ d'irradiation; par exemple, sur des gonades qui seraient situées à 30 cm d'un champ de 12 x 12 cm, on obtient respectivement 0,2, 0,3 et 0,4 % du débit de dose absorbée maximal sur l'axe selon que le faisceau est un faisceau de rayons X de 200 kV, de γ de ^{60}Co ou des rayons X de 34 MV; c'est-à-dire que pour se situer l'ordre de grandeur, les gonades reçoivent environ 20 rads pour 5.000 rads au niveau du débit de dose absorbée maximal sur l'axe du faisceau (J. Garsou, 1972) {4} comme le montre la figure 3.

Personnel

.....

Le personnel rencontre des occasions d'irradiation :

1. lors du placement du patient
2. par entrée intempestive dans la salle d'irradiation pendant une irradiation
3. en cas d'incident de non remise en repos d'une source radioactive dans la bombe
4. au pupitre de commande.

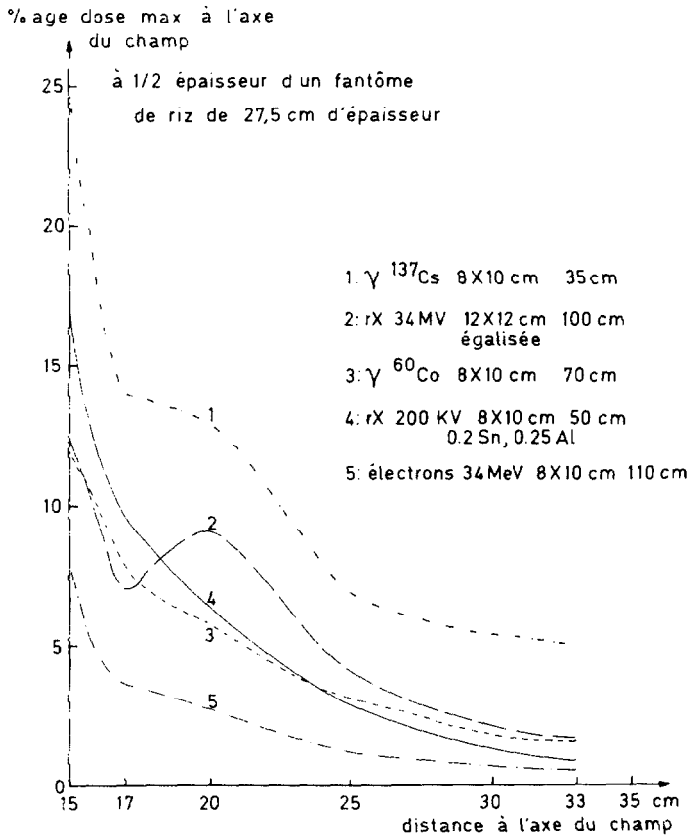


Fig. 3. Variation en fonction de la distance à l'axe du champ du pourcentage de la dose maximale délivrée sur cet axe à mi-épaisseur d'un fantôme de riz de 27,5 cm d'épaisseur simulant un corps humain.

Un cas particulier est fourni par la contactthérapie.

1. Placement du patient

Dans le cas des machines accélératrices, (ou des tubes de rayons X), il est évident que l'émission du rayonnement cesse avec le déclenchement de la machine. Toutefois, si l'énergie d'accélération est supérieure à 8 MeV, on obtient une activation négligeable du collimateur et de la zone irradiée du patient. Des photo- ou électrodésintégrations sur ^{12}C , ^{13}N et ^{16}O conduisent à la production de radioisotopes émetteurs de β^+ de période relativement courte (la période du ^{11}C est de 20,5 min et elle est la plus élevée) et la contribution à la dose du rayonnement émis par ces radioisotopes induits est de l'ordre de 0,6 % à 40 MeV selon Horsley et coll. (1953) {5}. L'air de la salle d'irradiation est également contaminé par cette radioactivité induite mais davantage par une éventuelle production d'ozone au point que l'extraction de l'air du local d'irradiation puisse est recommandée.

La perte ou la chute accidentelle des corps égalisateurs des faisceaux peut entraîner des surdosages graves au niveau du patient; cette possibilité d'accident a requis des constructeurs la nécessité de placer deux chaînes dosimétriques indépendantes du faisceau.

Dans le cas des bombes radioactives, lorsque la source est en position de repos, on note par exemple pour une bombe Picker C8M/80 chargée d'une activité de ^{60}Co fournissant 3.000 RHm, on obtient 14 mR/h au contact et environ 1 mR/h à 50 cm; dans le cas d'un appareil Cesapan Barazzetti contenant environ 2.000 Ci de ^{137}Cs , on mesure 0,07 mR/h au contact.

2. Entrée intempestive dans la salle d'irradiation pendant une irradiation

Pour éviter une éventuelle irradiation lors d'une entrée intempestive dans la salle, il y a nécessité de disposer sur les portes d'accès des contacteurs déclenchant la production du faisceau ou provoquant la mise au repos de la source selon le cas; le fonctionnement correct de ces contacteurs doit faire l'objet de vérifications régulières.

3. En cas d'incident

Dans une bombe radioactive, la source peut rester bloquée en position d'irradiation. Il y a lieu alors de retirer aussi rapidement que possible le patient de la table, manoeuvre dont la difficulté dépend de l'état du patient et du maintien ou non sous tension de l'installation (selon que la table est motorisée ou pas).

Il s'agit également de fermer manuellement le collimateur (ce qui est possible si le déplacement des mâchoires n'est pas asservi); il faut encore remettre manuellement la source en position de repos (par exemple avec l'installation Picker C8M/80, le manipulateur est susceptible de recevoir une dose de l'ordre de 12 à 43 mR selon la dimension du champ à 80 cm de la source pour une durée de la manoeuvre estimée à 5 sec.).

4. Au pupitre de commande

La dose reçue en provenance de la salle d'irradiation est généralement faible en raison des exigences imposées aux blindages de radioprotection, aux dispositifs complémentaires tels que les chicanes aux portes d'accès, fenêtres d'observation. C'est ainsi que l'on trouve des murs frappés directement par le faisceau, de 2,70 m de béton ordinaire dans le cas d'un bétatron de 35 MeV et de 1,50 m de béton baryté dans le cas d'un accélérateur linéaire de 5,6 MeV, une fenêtre d'eau de 1 m d'épaisseur dans l'axe de rotation d'un bétatron de 35 MeV.

Ces exigences de blindage expliquent aisément le recours à des systèmes de surveillance des irradiations par télévision en circuit fermé.

Il faut rappeler ici que les blindages contre les photons doivent être doublés d'un blindage contre les photoneutrons lorsque l'énergie de l'accélérateur dépasse 8 MeV.

Les mesures faites à Liège autour du bétatron Brown-Boveri de 35 MeV montrent au pupitre de commande, pour un débit de 100 rad/min dans l'eau à 1,10 m de la source avec un faisceau d'électrons de 34 MeV vertical dirigé de haut en bas, 0,03 mrem/h débit de dose qui est à peine augmenté (0,04 mR/h) lorsque le faisceau est intercepté par 6 cm de plomb en vue de la production de n rapides ou lorsque le faisceau est orienté de droite à gauche avec ou sans interposition de Pb; ce débit passe à 0,1 mrem/h pour un faisceau de rayons X de 10 rad/min dans l'eau à 1 m de la source (J. Garsou, A. Smons, J. Guillaume) {6}.

Dans le cas des sources de ^{60}Co et de ^{137}Cs , l'irradiation peut être contrôlée par une chambre d'ionisation posée sur la peau du patient au centre du champ. Il a été remarqué que d'anciens modèles de dosimètres (ce fut le cas d'anciens modèles de dosimètres Universels Siemens) à source radioactive incorporée irradiaient les manipulatrices d'une façon non négligeable.

Les appareils de contactthérapie soulèvent des problèmes particuliers de radioprotection du fait de l'émission d'un rayonnement rétrodiffusé intense par la zone irradiée. Avec un appareil Philips RT50, par exemple, travaillant sous 50 kV (1 mm Al) avec 2 mA, on obtient un maximum de 410 mR/min le long du tube à 35 cm d'un champ de 2 cm de diamètre; si le tube porte un disque-écran protecteur, le maximum de débit d'exposition s'obtient, à la même distance de la peau, à 40 cm de l'axe du tube et sa valeur reste aussi élevée que 290 mR/min.

Par conséquent, l'idéal serait d'irradier le patient seul dans la salle et le temps très court des irradiations ne doit pas être prétexte à l'autorisation de la présence de n'importe quelle personne à proximité du patient : si cette présence est nécessaire, le port du tablier plombé est de rigueur.

Une solution efficace dans l'élimination du rayonnement diffusé consiste à recouvrir la périphérie du champ d'irradiation de 0,1 mm Pb : dans ces conditions, le débit d'exposition tombe à un maximum de 48 mR/min à environ 35 cm de la peau et 40 cm du champ d'irradiation {7}.

Doses annuelles
 :::::::::::::::

Dans le Service de Radiothérapie de l'Université de Liège, les infirmières manipulatrices reçoivent des doses annuelles de photons, β , n thermiques mesurés par films-badges de l'U. K. Radiation Protection Service, de n rapides mesurés par films Kodak NTA, "nulle" (°) dans le voisinage de l'installation du ^{60}Co et de l'accélérateur Neptune de 5,6 MeV et d'une part de 2 - 16 mrems en photons, β et n thermiques, d'autre part de 8 mrems en n rapide autour du bétatron de 35 MeV.

(°) Compte tenu de la sensibilité du système de lecture des densités optiques des films, une dose "nulle" correspond en fait à 0 - 11 mrems.

Environnement *****

A l'extérieur des installations les plus puissantes, nous mesurons au contact des parois frappées par le faisceau de section maximale de 0,02 à 0,06 mR/h.

II. CURIETHERAPIE

L'évolution des techniques est principalement marquée par l'abandon progressif du Ra au profit de radioisotopes artificiels.

Nous nous intéresserons principalement dans les domaines de :

- a. radiothérapie intracavitaire, aux sondes gynécologiques et nasopharyngiennes
- b. radiothérapie intersticielle, aux applicateurs oculaires et aux plaques utilisées en dermatologie.

L'abandon du Radium

Le début du remplacement du Radium date, à Liège, par exemple, de 1971.

Il est suffisamment connu que le Radium par désintégration α accumule de l'hélium à l'intérieur des tubes scellés; sous l'effet de l'accroissement résultant de pression interne ($^{\circ}$), hélium et radon résultant de la désintégration du Ra s'échappent par les failles des tubes fatigués et par désintégration le Radon laisse une contamination due au dépôt actif. Toute source de Radium doit par conséquent faire l'objet d'un contrôle régulier (au moins tous les six mois) de son étanchéité : il va de soi néanmoins que les plaques radifères soient difficilement étanches. C'est ainsi qu'il y a une douzaine d'années,

($^{\circ}$) Il peut y avoir production d' O_2 et H_2 par radiolyse de l'eau de préparations radifères non 2 entièrement déshydratées.

nous avons pu mesurer une activité de Rn égale à 3 CMA dans l'air d'un coffre à Radium et il y a deux ans, nous avons décelé une contamination par dépôt actif provenant du temps déjà lointain (remontant à plus de 25 ans) où l'on pratiquait le façonnage de moules radifères en cire.

Un second inconvénient du Ra en équilibre avec ses produits de filtration est la pénétration de son rayonnement nettement plus élevée que celle du ^{137}Cs comme il ressort des comparaisons des CDA et des épaisseurs $\times 1/10$ (atténuant au $1/10$ l'intensité du rayonnement).

	Ra	^{137}Cs
CDA (Pb)	1,3 cm	0,65 cm
$\times 1/10$ (Pb)	4,44 cm	2,2 cm

Cette pénétration relativement plus grande du rayonnement alourdit considérablement les blindages alors que le champ d'irradiation ne bénéficie nullement de cette propriété, puisque les sources irradient au contact ou à très faible distance.

L'utilisation d'un émetteur gamma d'énergie plus faible, tel le ^{137}Cs (0,66 MeV) permet d'obtenir une distribution de la dose absorbée autour des sources, sensiblement identique alors que les blindages de radioprotection sont nettement allégés.

Si l'irradiation β^- locale est envisagée, la substitution du Ra par un émetteur β^- pur, tel le couple $^{90}\text{Sr}-\text{Y}$ (énergie maximale des β^- : 0,54 et 2,27 MeV) permet une distribution de dose in situ de même type sans entraîner une irradiation γ importante au-delà du volume irradié.

a) Radiothérapie intracavitaire

1. Dans les implants gynécologiques, le ^{137}Cs a donc remplacé le Radium et est apparue la technique d'after-loading selon laquelle un applicateur porte-sources est introduit dans la patiente; de cette façon, les repérages des sources peuvent être réalisés sans irradiation pour le personnel et les sources sont mises en place et retirées en salle d'opération. La figure 4 donne un exemple d'applicateur porte-sources selon Fletcher.

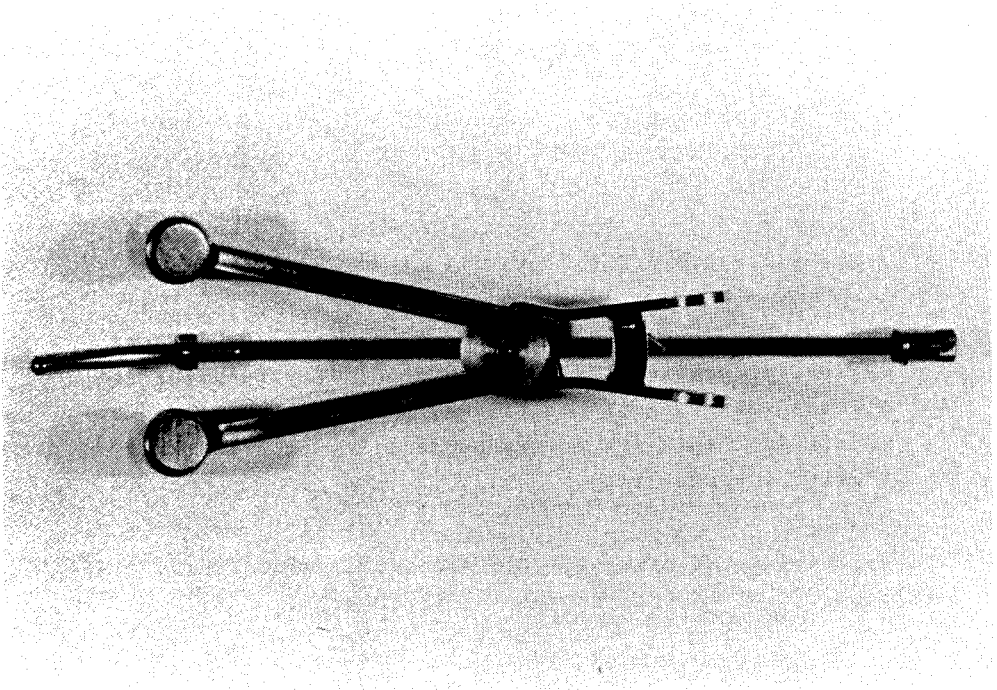


Fig. 4. Applicateur de sources pour irradiations gynécologiques selon Fletcher.

Répercussion sur la radioprotection

Patient

- a) Les courbes isodoses locales autour des sources ne sont pas considérablement modifiées alors que l'irradiation du corps à distance des sources est nettement atténuée.
1. Par rapport à celles du 5a (1 mm Pt), les activités appliquées de ^{137}Cs sont calculées pour obtenir des débits de doses absorbées équivalentes à 1 cm, les constantes spécifiques d'émission gamma étant :

Γ Ra (1 mm Pt)	: 7,71 R/h mCi à 1 cm
(0,5 mm Pt)	: 8,25
^{137}Cs	: 3,23

alors que $\text{rad/R} = 0,957$ pour Ra et ^{137}Cs .

2. Les courbes de dose en profondeur aux environs directs de sources ponctuelles de Ra ou de ^{137}Cs présentent des allures sensiblement identiques, puisque l'effet de géométrie de l'émission du rayonnement l'y emporte sur l'effet d'atténuation.

La figure 5 de Meisberger L.L., Keller R., Shalek R.J. (1968) {8} montre ces courbes de dose en profondeur.

- b) Les cloisons blindées séparant les chambres d'hospitalisation prévues pour le Ra assurent une protection plus efficace.

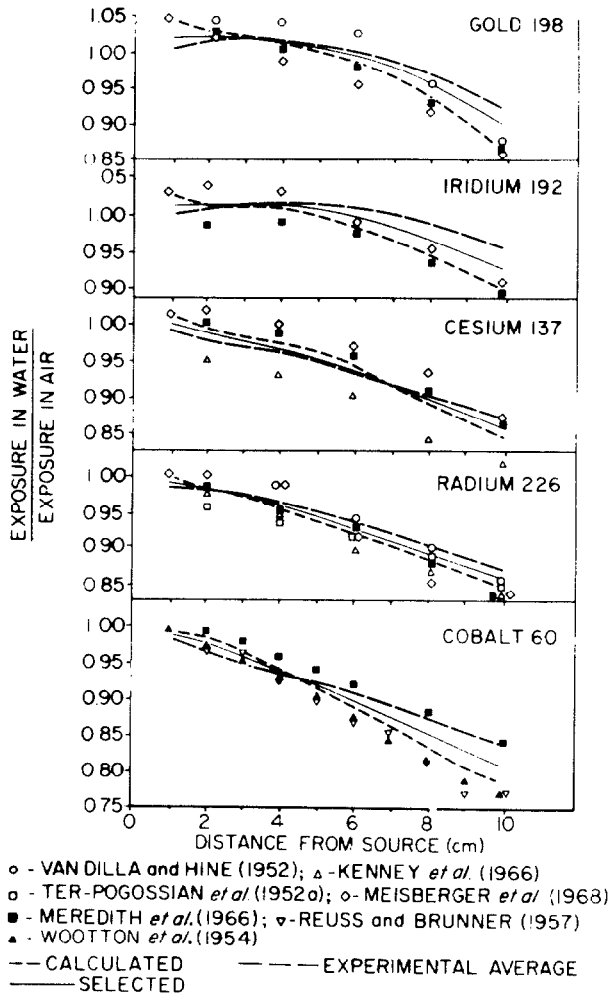


Fig. 5. Courbes d'atténuation des rayons gamma émis par divers radioisotopes (repris de Meisberger L.L., Keller R., Shalek R.J., 1968).

Personnel

- a) Avec l'application de la technique d'after-loading, les sources radioactives sont donc placées et retirées en salle d'hospitalisation : il n'y a donc plus d'irradiation du personnel en salle d'opération et pendant le repérage des sources.
- b) Avec le recours au ^{137}Cs , la protection des opérateurs lors du placement et du retrait des sources, et celle du personnel de soins, tout au long du nursing sont améliorées. Les écrans rapprochés de 3,5 cm Pb par exemple présentent une meilleure efficacité que dans le cas du Ra : ils atténuent à 3 % l'intensité du rayonnement gamma du ^{137}Cs . On peut ainsi mesurer au contact de ces écrans 2,5 mR/h pour une activité implantée de 250 mCi de ^{137}Cs au lieu de 5 mR/h pour 40 mg Ra, c'est-à-dire que dans ce cas, le débit d'exposition derrière écran est réduit de moitié alors que l'intensité du rayonnement est multipliée par 2,6.

Or, il faut avoir présent à l'esprit que l'épaisseur des blindages est limitée par la charge admise au parquet.

Les doses annuelles reçues par le personnel qui manipule ces sources thérapeutiques manifestent une substantielle régression : alors que nous avons noté un maximum de 4.340 mrems pour 90 applications de 75 mCi et 10 de 225 mCi de Ra, nous remarquons à présent des doses d'environ 80 mrems pour 38 applications de 74 à 254 mCi de ^{137}Cs et de 8 packings de Ra.

Environnement

Rappelons ici que l'utilisation du ^{137}Cs élimine pratiquement les problèmes de contamination et assure des doses à l'environnement nettement plus faibles en raison d'une plus grande efficacité des blindages.

Remarque : Vers 1968 environ, le ^{252}Cf a été proposé comme source thérapeutique gynécologique de neutrons rapides émis par fission spontanée au rythme de $2,6 \times 10^6$ n/sec.µg avec une distribution d'énergie semblable à celle des neutrons de fission des autres produits fissibles, c'est-à-dire présentant à 2 MeV l'énergie la plus probable. Si, à présent, la dosimétrie locale in situ paraît largement maîtrisée {9}, par contre, l'utilisation du ^{252}Cf pose le problème des blindages de protection efficace lors des manipulations et de l'hospitalisation ainsi que celui du contrôle dosimétrique du personnel aussi valable en ce qui regarde les neutrons rapides que les gammas et bêtas.

2. La sonde nasopharyngienne de Crowe d'une activité de 50 mg Ra est avantageusement remplacée pour son irradiation β^- par un applicateur comportant 100 mCi de ^{90}Sr (modèle SIA 10 du Radiochemical Centre Amersham). (voir figure 6).

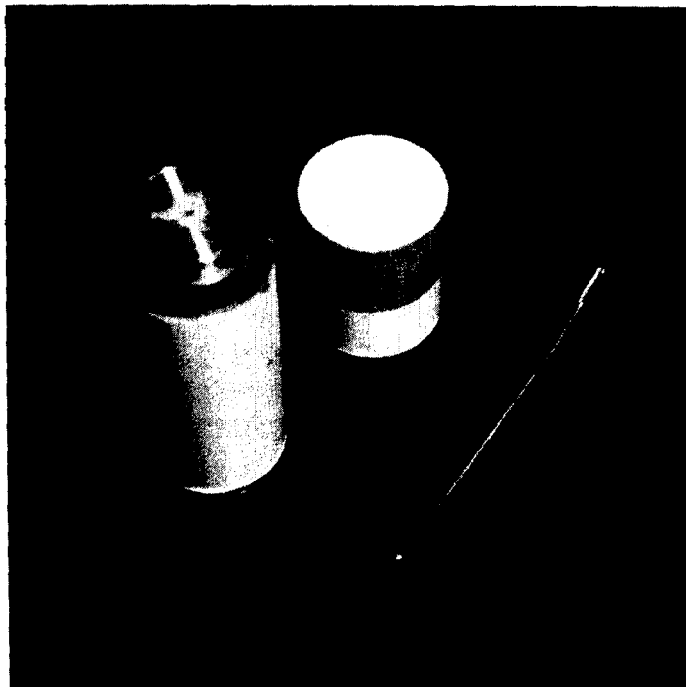


Fig. 6. Vue d'un applicateur nasopharyngien au ^{90}Sr (modèle SIA 10 du Radiochemical Centre Amersham) et de son conteneur de Pb.

Notons en passant que les temps et programmes d'application de ces sondes ont fait l'objet d'études de normalisation (Bonier R. et Garsou J., 1974) [10].

Répercussion sur la radioprotection

Patient

Le volume β irradié est un cylindre de rayon pratiquement identique dans le cas de la sonde de Crowe et de l'applicateur à ^{90}Sr , soit environ 1 cm.

En dehors de ce volume, la dose est due aux gammas du Radium et aux rayons X de freinage des β du ^{90}Sr -Y et cette dose décroît en fonction inverse du carré du rayon.

C'est ainsi qu'avec la sonde de Crowe, les débits de dose sont :

au coin de l'oeil : 192 mrems/min
 à la peau de l'isthme thyroïdien : 56 mrems/min
 à l'ombilic : 3,3 mrems/min
 au niveau du pubis ou des testicules : 0,8 mrem/min.

Mais avec l'applicateur de Sr, ces débits de dose mesurés en dehors du volume β irradié sont 13,6 % des débits de dose mesurés avec la sonde de Crowe.

Personnel

On obtient évidemment pour le personnel une diminution de la dose dans la même proportion.

b) Radiothérapie dermatologique

1. Alors que les moules radifères peuvent être considérés comme abandonnés depuis plus de dix ans, il arrive encore de déceler des contaminations par dépôt actif de Ra imprégnant de la cire provenant de vapeurs condensées sur des surfaces froides à proximité de l'ancien lieu de manipulation.

Depuis de nombreuses années déjà, le traitement d'angiomes plans recourt à des plaques de ^{32}P .

2. Les applicateurs oculaires au ^{90}Sr , tel l'applicateur Tracelab, mis sur le marché il y a une vingtaine d'années sont encore valablement utilisés. Dans l'exemple cité, la dose au contact est aussi élevée que 1.300 rads/min pour un applicateur convexe et 1.000 rads/min pour un applicateur plan.

En ce qui regarde la radioprotection du personnel, la tige de l'applicateur porte, comme le montre la figure 7, un disque de plexiglas de 6 mm d'épaisseur et de 10 cm de diamètre et on mesure à 1 m, 0,075 mR/h en photons et 2,75 mR/h en photons + β .

c) Radiothérapie interstitielle

Il est fait usage courant de fils, épingles, grains d' ^{198}Au , ^{192}Ir et ^{90}Y dont la manipulation présente un risque relativement très faible de contamination. Les précautions habituelles vis-à-vis de l'irradiation externe sont d'application.

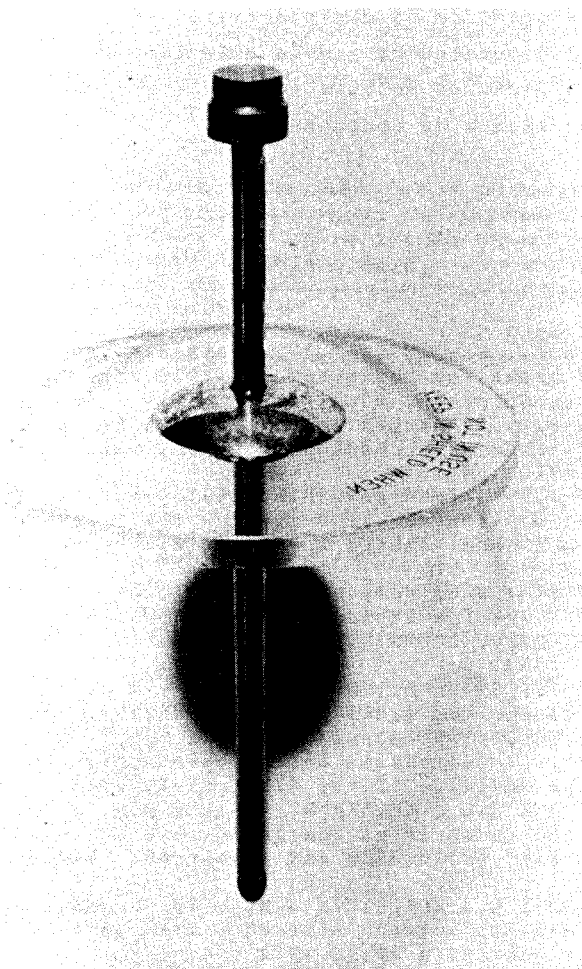


Fig. 7. Vue d'un applicateur oculaire Tracerlab au ^{90}Sr .

CONCLUSION

En bref, l'évolution technique de la radiothérapie transcutanée et de la curiethérapie a entraîné, à ce jour, un accroissement appréciable de la protection du patient et les progrès de la curiethérapie, principalement par le remplacement du Ra par le $^{90}\text{Sr-Y}$ ou le ^{137}Cs selon le cas, une diminution notable des doses reçues par le personnel et du risque de contamination.

BIBLIOGRAPHIE

- {1} JOHNS H.E., RAWLINSON J.A. : Physical properties of high energy beams for radiotherapy; IIId Intern. Conf. on Med. Physics, Göteborg, 23.2, 1972.
- {2} GARSOU J. : Avantages potentiels des faisceaux de mésons π en radiothérapie. Radioprotection, vol. 12, n° 3, p. 243-260, 1977.
- {3} GARSOU J. : Recent possible developments in the improvement of dose application. A Survey. A few reflexions. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Physik, Göttingen, 1980.
- {4} GARSOU J. : Dose delivery around local therapeutic radiation field. J. Belge Radiol., 55, 5, 539-548, 1972.
- {5} HORSLEY R.J., JOHNS H.E., HASLAM R.N.H. : Nucleonics, 11, 2, 28, 1953.
- {6} GARSOU J., SMONS A., GUILLAUME J. : A propos des neutrons produits par des accélérateurs médicaux. Annales de Radioprotection, 1980 (à paraître)
- {7} GARSOU J. : Dosimétrie de radioprotection en contactthérapie X. J. Belge Radiol., 52, 5, XXIII-XXVI, 1969.
- {8} MEISBERGER L.L., KELLER R., SHALEK R.J. : The effective attenuation in water of the gamma rays of gold-198, iridium-192, cesium-137, radium-226 and cobalt-60. Radiology, 90, 952, 1968.
- {9} ANDERSON L.L., EDELSTEIN G.R. : Ion chamber dosimetry of ^{252}Cf medical neutron source. III Int. Conf. on Med. Physics, Göteborg 42.1, 1972.
- {10} BONIVER R., GARSOU J. : Bêta-thérapie tubaire par sonde de Strontium dans les otites récidivantes. Acta Oto-Rhino-Laryngol. Belg., 22, 996-1007 (1974)

SAMENVATTING.

In de teleradiotherapie, is de ontwikkeling van de technieken gekenmerkt door de matiging van de wedren naar hogere photonen energie, de verbetering van de nauwkeurigheid van de gegevens voor de berekening van de behandelingen, de uitwerking van geraffineerde systemen van bundelstoepassing op tumoren van complexe vorm en de verwerking van bundels van snelle neutronen, versnelde ionen en negatieve pionen : daaruit volgt een betere stralenbescherming van de patiënt.

In de curietherapie, zijn de door het personeel ontvangen dosissen aanzienlijk verminderd door het vervangen van Ra door ^{137}Cs voor lokale gamma bestralingen (in gynaecologie) en door $^{90}\text{Sr-Y}$ voor in situ beta bestralingen.

ABSTRACT.

In teleradiotherapy, the evolution of the techniques is characterized by a moderation in the race to higher photoenergies, the improvement of the accuracy of the data for treatment computation, the development of sophisticated systems for beam application to complex shape lesions and the production of beams of fast neutrons, accelerated ions and negative pions : a better patient radioprotection is reached.

In curietherapy, the substitution of Ra by ^{137}Cs for local gamma irradiation (in gynecology) and by $^{90}\text{Sr-Y}$ for in situ beta irradiations reduces greatly the personnel doses.

ZUSAMMENFASSUNG.

In der transkutanen Radiotherapie ist die Entwicklung der Bestrahlungstechniken gekennzeichnet durch eine Abschwächung des Trends zu hohen Photonenergien, durch eine Verbesserung der Genauigkeit bei den Berechnungsgrundlagen der Behandlung und durch eine Entwicklung von technisch sehr anspruchsvollen Systemen zur Anwendung von Strahlenbündeln auf komplexe Tumorstrukturen, zur Anwendung gebündelter schneller Neutronen, beschleunigter Ionen und negativer Pionen, von Entwicklungen also, die zu einem besseren Strahlenschutz des Patienten führen.

In der Curitherapie führt der Ersatz von Radium durch ^{137}Cs für lokale Gammabestralungen (in der Gynäkologie) und durch $^{90}\text{Sr-Y}$ für insitu Bestralungen zu einer bemerkenswerten Absenkung der Dosisbelastung des Personals.

Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming, vol. 6, nr 3-4 (1981).

STRALINGSGEVAAR IN DE NUCLEAIRE GENEESKUNDE

M.J.K. DE ROO

Dienst Nucleaire Geneeskunde

A.Z. St. Rafaël - K.U.Leuven

11 december 1980.

SAMENVATTING

Na een situatieschets van de nucleaire geneeskunde in België wordt de evolutie van de nucleaire geneeskunde beschreven wat betreft de kwantitatieve veranderingen (hoeveelheid tracerprodukten, aantal geneeskundige procedures, aantal bevoegde geneesheren) en de kwalitatieve veranderingen (in gebruik nemen van kortlevende tracers met middelmatige stralingsenergie, in vitro procedures). In functie van voormelde gegevens wordt het stralingsgevaar voor het personeel geëvalueerd zowel wat betreft interne contaminatie als uitwendige stralingsdosis. Mits aangepaste werkwijzen, eenvoudige afschermingsbenodigdheden en nauwe samenwerking met een actief stralings controle organisme, kan de stralendosis van het personeel laag worden gehouden, zelfs bij de hoge doses gebruikt bij de isotopenbehandeling.

1. Situatieschets van de Nucleaire Geneeskunde in België

De nucleaire geneeskunde omvat deze diagnostische of therapeutische procedures waarbij radioisotopen onder vorm van open bronnen worden gebruikt. Bij de diagnostische toepassingen kan men een onderscheid maken tussen in vivo exploraties waarbij het radioactief tracerprodukt aan de patiënt wordt toegediend en de in vitro toepassingen waarbij de manipulaties met tracers beperkt blijven tot bloed- en urinestalen. Wat betreft het therapeutisch aspect bestaat er een moeilijkheid bij het bepalen van de scheidingslijn tussen nucleaire geneeskunde en radiotherapie, gezien in de radiotherapie eveneens wordt gebruik gemaakt van radioisotopen in open bronnen. Daarom zou men kunnen voorstellen, dat alleen deze therapeutische toepassingen onder de nucleaire geneeskunde zouden vallen, waarbij de concentratie in het doelwitorgaan of het doelwitsysteem zou gebeuren door een actief metabool fenomeen en niet door het artificieel inbrengen van de therapeutische dosis. Deze laatste procedures zouden tot het domein van de radiotherapie behoren.

De nucleaire geneeskunde werd tot voor kort in ons land uitsluitend beoefend als een bijkomende bevoegdheid door radiotherapeuten en

internisten wat betreft de totaliteit van de nucleaire geneeskunde d.w.z. zowel de in vivo als de in vitro procedures. De in vitro procedures kunnen ook door klinisch biologen worden verricht. Sinds januari 1978 werd in het Staatsblad het bestaan aanvaard van een geneesheer specialist in de nucleaire geneeskunde, dit om bestaande toestanden te regulariseren, daar een bepaalde universiteit dergelijke specialisten "avant la lettre" opleidde.

De criteria van deze nieuwe specialiteit zijn ter discussie bij de hoge raad der specialisten, verder hierover uitweiden zou vooruitlopen op de huidige nog onzekere evolutie van deze zaak.

Teneinde de opleiding tot het bekomen van de bevoegdheid aan de verschillende universiteiten te harmoniseren werden door een Interuniversitaire Commissie in 1972 criteria opgesteld, aanvaard door alle universiteiten. Deze criteria behelzen 2 jaar bijkomende opleiding voor in vivo en in vitro opleiding voor internisten en radiotherapeuten, 1 jaar bijkomende opleiding voor in vitro hetgeen voor de klinisch biologen geldt, zowel geneesheren als apothekers. Tevens werden de vakken der theoretische opleiding vastgelegd waarin de radioprotectie een voorname plaats inneemt, hetgeen op zichzelf reeds een zekere waarborg levert voor de toepassing van de radioisotopen procedures in veilige omstandigheden.

Bij afwezigheid van een erkenningscommissie wordt de degelijkheid en de volledigheid van de opleiding beoordeeld door een medische Jury, opgericht in de schoot van de bijzondere commissie voor radioprotectie van het Ministerie van Volksgezondheid, die er ook op let dat per geneesheer het aantal vestigingen beperkt blijft tot twee en de lokalen reeds de technische erkenning ontvingen. Naast de vaste leden van deze jury die hoofdzakelijk experten in de radioprotectie en enkele nucleair geneeskundigen zijn, zijn alle universiteiten van het land vertegenwoordigd zowel wat betreft geneesheren als apothekers.

2. Evolutie van de Nucleaire Geneeskunde

Gedurende de laatste jaren onderging de nucleaire geneeskunde een belangrijke evolutie zowel kwantitatief als kwalitatief hetgeen zijn weerslag heeft op de problemen van radioprotectie doch niet noodzakelijk in ongunstige zin zoals zal blijken.

2.1. Kwantitatieve gegevens

De hoeveelheid tracerprodukten

Over deze gegevens kunnen wij moeilijk uitweiden daar inlichtingen vanaf de isotopen toeleverende industrieën moeilijk te verkrijgen zijn. In ons land steeg de omzet in radioactieve produkten voor medische toepassingen met 360 % tijdens de laatste tien jaar. Volgens de gegevens van Pretschner (1) is de stijging sinds 1975 85,9 % voor in vivo tracers en 108,5 % voor produkten bestemd voor in vitro meettechnieken, dit wat betreft de omzet van radioactieve produkten in de Bondsrepubliek Duitsland.

Aantal nucleair geneeskundige procedures

Wat betreft de in vivo exploraties is er een gestadige vooruitgang bemerkbaar vanaf het ogenblik dat de gamma camera haar intrede doet (vanaf 1968 - 1969).

Hierdoor wordt de mogelijkheid voor dynamische scintigrafies geboden hetgeen een aanzienlijke verbreding van het toepassingsdomein van de nucleaire geneeskunde tot gevolg had. Doch ook voor het gewoon scintigrafisch onderzoek werden steeds nieuwere indicaties gevonden, onderzoeken die minder tijd vroegen in vergelijking met de scintigrafie met de conventionele scanners met bewegende detectorkop. De huidige evolutie echter waarbij men steeds meer en meer gemengd functioneel en morfologisch isotopenonderzoek aanwendt met tijdrovende dataverwerking en multipliceren van de incidenties heeft een sterk remmende invloed op de multiplicatie van het aantal in vivo procedures (vanaf 1973 - 1974).

Het aantal behandelingen met radioisotopen neemt gestadig toe doch vertegenwoordigt een kleine fractie van het totaal aantal prestaties. Het aantal in vitro exploraties echter kent een explosieve toename wat in de lijn van de verwachtingen ligt gezien het enorme toepassingsdomein van de radioimmunoassay. Deze evolutie is goed weergegeven op Fig. 1, die de evolutie van het aantal exploraties weergeeft op onze dienst aan het A.Z. St. Rafaël.

Aantal erkende geneesheren

Afgaande op de lijsten van het Ministerie van Volksgezondheid bemerkt men dat er een gestadige toename is van het aantal bevoegd verklaarde geneesheren. Daar de meeste dezer geneesheren op meer dan

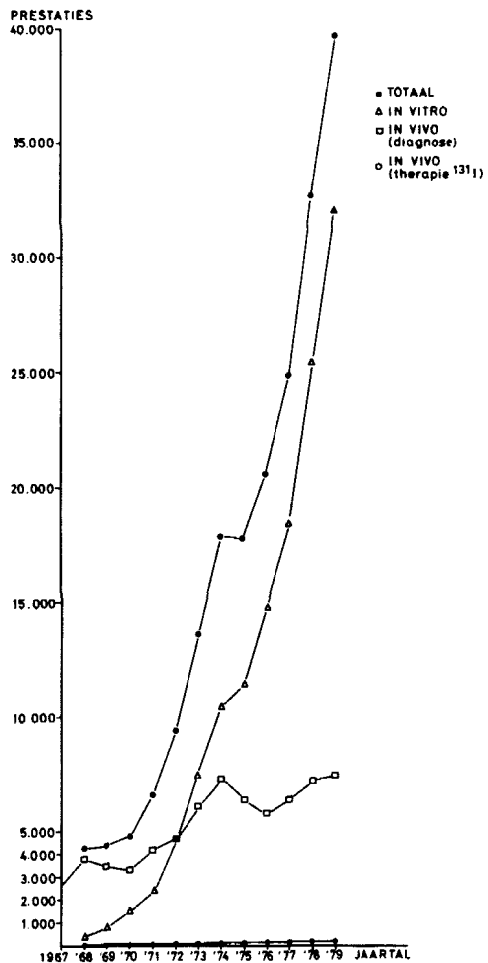


Fig. 1 : Evolutie van het aantal exploraties

GROEI VAN HET AANTAL GENEESHEREN ERKEND VOOR NUCLEAIRE GENEESKUNDE

} IN VIVO EN IN VITRO
 } IN VITRO ALLEEN

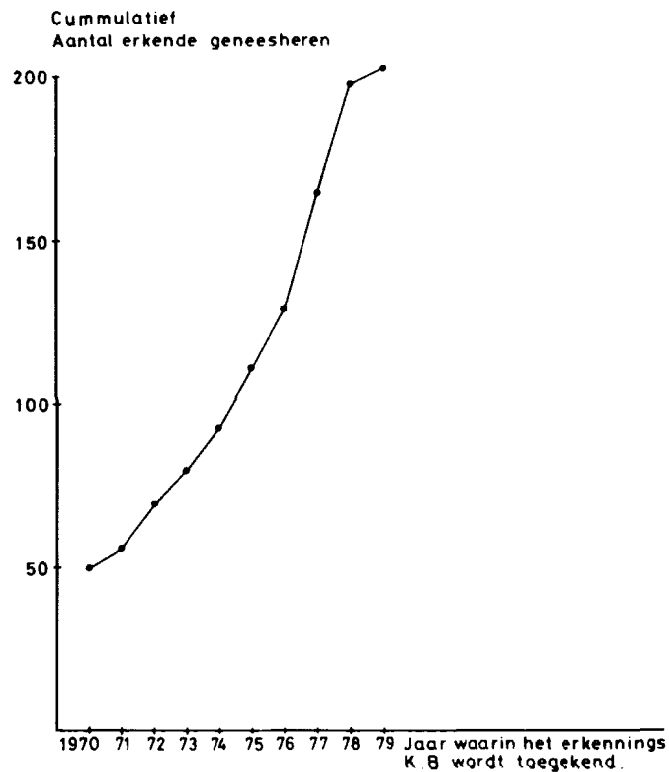


Fig. 2 : Groei van het aantal geneesheren erkend voor nucleaire geneeskunde.

1 dienst of afdeling werken is de reële kans tot multiplicatie van het aantal toepassingen groter als uit dit overzicht blijkt (Fig. 2).

2.2. Kwalitatieve gegevens

Hier moeten er meerdere aspecten worden besproken.

a) tracers

Het invoeren van ^{99m}Tc als tracerprodukt voor tal van organische substanties, partikels of gefigureerde bloedelementen, waarmee een groot aantal organen, zowel zuiver morfologisch, zuiver functioneel of gemengd functioneel en morfologisch kunnen worden geëxploreerd, heeft gedurende de zestiger jaren het gelaat van de nucleaire geneeskunde grondig gewijzigd. Door het bestaan dus van een groot aantal toepassingsmogelijkheden en daar de bestralingsdosis van de patiënt sterk verminderde ten gevolge van de korte periode van ^{99m}Tc ($T_{1/2} = 6$ uur) steeg het aantal aanvragen tot exploratie. Deze toename in aantal exploraties ging tevens gepaard met een toename van de tracerdosis met een faktor van 10 tot 500 hetgeen echter zoals reeds gezegd geen verhoging van de bestralingsdosis van de patiënten tot gevolg had, zelfs een verlaging van deze dosis in vergelijking met de vroegere langer levende en hoog energetische tracerprodukten. De tracerkwantiteiten die worden gemanipuleerd zijn dus sterk gestegen doch dit nadeel wordt enigzins gecompenseerd door het feit dat de relatief zwakke stralingsenergie gemakkelijk kan worden afgeschermd.

Gedurende de laatste jaren is een hernieuwde interesse voor cyclotronprodukten ontstaan. Het in gebruik nemen van positronen camera's waardoor het mogelijk bleek de verspreiding van de kortlevende positron emitters in het lichaam te visualiseren en zelfs dynamisch kwantitatief te bestuderen, heeft een heropleving van de produktie van de kleine cyclotrons veroorzaakt. Bepaalde van de zeer kortlevende positron emitters (^{15}O $T_{1/2}$: 2,3 min.; ^{11}C $T_{1/2}$: 22 min.; ^{13}N $T_{1/2}$: 13 min.) kunnen slechts ter plaatse worden gebruikt. Doch andere isotopen door de cyclotron geproduceerd zijn interessant voor gebruik op afstand zoals het ^{18}F , ^{123}I , ^{81m}Kr als dochterprodukt van het ^{81}Rb , het ^{68}Ga als dochterprodukt van ^{68}Ge enz.

Andere cyclotronprodukten, van toepassing in routine procedures zijn het ^{67}Ga citraat (tumor- en infectie detektie) en $^{201}\text{Thallium}$ chloride (voor detektie en evaluatie van het myocardinfarct).

De algemene trend in de evolutie van de tracer-technologie gaat in twee richtingen enerzijds wenst men steeds korter levende tracer-produkten te gebruiken zodanig dat een groot deel van de huidig aangewende kortlevende radio-elementen afkomstig zijn van langlevende moederprodukten waaruit zij worden gescheiden door de zo-gezegde milking systemen - anderzijds moest de energie van de gamma straling aangepast zijn aan het detektievermogen van de gamma camera, het instrument bij uitstek van de moderne nucleaire geneeskunde, die optimaal een energiebereik meet tussen 80 en 200 keV. In de moderne nucleaire geneeskunde gebruikt men dus tracers met de kortst mogelijke fysische periode en met middelmatig lage energie.

b) procedures

Indien de aard van de tracers een sterke evolutie heeft ondergaan mag hetzelfde gezegd worden betreffende de methodologie van de nucleair geneeskundige exploraties. Naast de in vivo technieken waarbij het tracerprodukt aan de zieke wordt toegediend heeft zich een gans domein ontwikkeld waarbij door in vitro technieken (manipulaties op stalen) praktisch alle hormonale produkten worden gedoseerd hoofdzakelijk door de radioimmunologische meetmethode. Ook geneesmiddelen, cytostatica, antigenen enz. kunnen worden gedoseerd. Gezien met zeer kleine hoeveelheden tracer wordt gewerkt is deze tak van de nucleaire geneeskunde om zo te zeggen zonder gevaar. Naast de diagnostische technieken is er tevens een zekere evolutie waar te nemen in het domein van de therapeutische toepassingen. Het aantal therapeutische toedieningen radiojood met doses van 100 en 200 mCi gaat in stijgende lijn hetgeen aanleiding geeft tot zware specifieke problemen van radioprotectie die we later zullen bespreken.

3. Evaluatie van het stralengevaar in het domein van de nucleaire geneeskunde.

Na de situatieschets van de nucleaire geneeskunde zoals ze nu in ons land wordt bedreven moet getracht worden een idee te bekomen over het

stralingsgevaar opgelopen door het personeel tewerkgesteld in diensten of afdelingen voor nucleaire geneeskunde.

De bestraling van de tewerkgestelden kan door verschillende mechanismen ontstaan:

- door interne contaminatie waarbij het tracerprodukt dat werd gemanipuleerd in het organisme drong (meestal langs perorale of percutane weg)
- door uitwendige bestraling waarbij de gamma straling uitgezonden door geconcentreerde isotopenbereidingen of door de patiënten, verantwoordelijk is voor de opgelopen stralingsdosis.

3.1. door interne contaminatie

- Bij de in vitro procedures is het gevaar voor interne contaminatie zeer gering. Het radiojood dat als tracer dient voor een van de constituenten van de radioimmunoassay kits, nl. het getekend antigeen, zou nochtans een zekere graad van interne contaminatie veroorzaken zoals aangegeven door Glöbel (2). Ons eigen personeel echter vertoont slechts een thyroidopstapeling van 0.1 % van de maximale toelaatbare opstapeling (3). Indien men echter overgaat tot het zelf ter plaatse markeren van een antigeen komt men ipso facto in de risico klasse verbonden aan manipulatie van hoge doses radiojood, in dit geval ^{125}I . Shleien en LeCroy (4) vonden bij 70 % van deze personen een aanwijsbare thyroidopstapeling (slechts 15 % bij manipulatie van therapeutische doses ^{131}I). De metingen uitgevoerd aan onze instelling wijzen slechts uitzonderlijk op interne contaminatie.
- Bij de diagnostische in vivo procedures moet men het personeel duidelijk in twee afzonderlijke groepen indelen wat betreft het risico van interne contaminatie, de groep personeelsleden hoofdzakelijk belast met de exploratie van de patiënten en de groep personeelsleden die instaan voor de bereiding van de tracerdoses en de toediening aan de patiënten van deze doses. Beide groepen lopen het gevaar besmet te worden door het uitvoeren van de injecties, doch het bereiden van de doses blijkt een groter risico in te houden, voornamelijk de doses bereid op het laboratorium zelf, door het mengen van de samenstellende elementen van de kits met frakties van het $^{99\text{m}}\text{Tc}$ eluaat. Dit blijkt uit het overzicht van de contaminaties met $^{99\text{m}}\text{Tc}$ van

het personeel belast met het conditioneren en bereiden van de testdoses zoals aangegeven in de studie van Nishyama et al. (5). De interne contaminatie werd gedetecteerd door meting van de ^{99m}Tc activiteit in de urine. Uit deze meetgegevens kan worden afgeleid dat op 50 weken beroepsactiviteit de algemene lichaamsdosis door interne contaminatie een kwart van een millirad bedroeg terwijl de stralendosis op de blaaswand slechts 0.32 millirad beliep.

De oppervlakkige contaminatiegebieden waren vooral gesitueerd ter hoogte van de linkerhand en voorarm (bij rechtshandigen) en onder de vorm van verspreide zones op het niveau van het midden van het lichaam. De enkele zeldzame besmettingen van het aangezicht en het haar liggen waarschijnlijk aan de basis van de vastgestelde interne contaminaties.

Andere auteurs zoals Leblanc et al. (6) vermelden bij gebruik van 100 curie Tc/jaar en 20 curie van andere isotopen, dat in 30 gevallen een interne contaminatie met ^{99m}Tc aanwezig was en slechts in 3 gevallen met ^{131}I . Hogervermelde gegevens werden verzameld bij 10 personeelsleden gedurende een jaar, waarbij 79 uitvoerige metingen werden uitgevoerd ter detectie (whole body counting, thyroidcaptatiemetingen, tracerexcretie in de urine alsmede metingen van de oppervlakkige contaminatie) en kwantificatie van interne contaminatie.

Naast het obligaate gebruik van handschoenen of handschoenkasten is de beste preventie van de interne contaminatie, die, zoals reeds hoger aangegeven hoofdzakelijk het gevolg is van uitwendige contaminatie, de vlugge detectie van de oppervlakkige contaminatie (liefst met draagbare gevoelige stralingsmonitor) en de ogenblikkelijke verwijdering van deze oppervlakkige besmetting. Wat dit betreft is er eveneens een evolutie opgetreden in die zin dat zoals kwantitatieve studies over oppervlakkige contaminatie hebben uitgewezen, men mag afzien van bijzondere decontaminatie vloeistoffen of overdreven en derhalve traumatiserend huidschrobben. Gewoon meerdere malen wassen met water en zeep is zeer efficiënt (5).

Men moet er tevens op letten dat het verplegend personeel van de klinische diensten, niet besmet wordt door excreta van inconti-

nente patiënten. Handschoenen dragen en afzonderlijk behandelen van het linnen van deze patiënten is hier aangewezen. Een controle hierover kan worden uitgevoerd an k zij verklikingsdetektoren geïnstalleerd in de wasserij.

- Therapeutische toepassingen

Indien het contaminatiegevaar bij het behandelen en toedienen van tracerdoses gering blijkt te zijn mag men vrezen dat het manipuleren en prepareren van therapeutische radiojood doses hoofdzakelijk voor het behandelen van schildkliercarcinoom, vervolgens het verzorgen van deze patiënten, aanleiding kan geven tot interne contaminatie met radiojood dat, wegens zijn hoge specifieke orgaanopstapeling, als radiotoxisch moet worden aanzien. Het is zo dat interne radiojood contaminatie dikwijls wordt vermeld in de studies uitgevoerd met whole body tellers doch meestal is deze contaminatie niet in verband te brengen met de radiojoodtherapie maar wel in verband met markering met radiojood. Zo vermelden Shleien en LeCroy (4) dat bij personeelsleden die tijdens hun werkzaamheden ^{125}I manipuleren, (40 man), er in 70 % interne contaminatie aantoonbaar was, terwijl bij 41 personeelsleden die ^{131}I gebruiken bij exploraties en behandelingen in diensten van nucleaire geneeskunde, slechts in 15 % ongewenste resorptie van het radiojood optrad. Toevallige metingen uitgevoerd door de dienst radioprotectie alhier bij het personeel van perifere ziekenhuizen hebben aan het licht gebracht dat indien therapeutische doses, in dit geval bestemd voor behandeling van hyperthyreose, vanaf stockoplossingen worden bereid zonder adequate bescherming of controle, er zware interne contaminatie optreedt. Gealarmeerd door deze bevindingen heeft het Belgisch Genootschap voor Nucleaire Geneeskunde bij monde van een bijzondere Commissie voor Radioprotectie een tekst met aanbevelingen opgesteld voor de veilige therapeutische toepassing van radiojood (7).

Naast het personeel dat belast is met het manipuleren en prepareren van de therapeutische doses, hetgeen gevaarloos kan verlopen indien men kapsels gebruikt, heeft men het probleem van het verplegend personeel.

Indien het verplegend personeel, in kennis gesteld van de risico's, zich schikt naar de voorschriften wat betreft het dragen van overshoes, handschoenen en afzonderlijk gehouden schorten, en indien zij de voorgeschreven algemene werkwijze volgt onder voortdurende controle van de dienst radioprotectie, stellen wij vast dat bij deze personeelsleden geen noemenswaardige interne contaminatie optreedt. Indien daarenboven de sterk radioactieve excreta van de patiënten worden verzameld in diepvrieze toiletten waardoor de gevaarlijke manipulaties van de excreta worden geëlimineerd met achteraf stockage tot volledige radioactieve afsterving, stellen wij vast dat zelfs deze potentiële gevaarlijke medische toepassingen op een zeer comfortabele en weinig gevaarlijke manier kunnen verlopen. Dit veronderstelt echter de nauwe samenwerking met een actieve dienst voor radioprotectie die aan het A.Z. K.U.Leuven onder leiding van Prof. Schonken en veiligheids Ir. Gebruers, ons steeds behulpzaam was in onze activiteiten.

Globaal genomen mag men stellen dat het risico voor interne contaminatie in het domein van de nucleaire geneeskunde, behalve voor enkele relatief zeldzame ongevallen, gering is. Alle auteurs wijzen enerzijds op het nut van de hand- en voetmonitors, hetzij vast of liefst draagbaar, bij de vroegtijdige detectie van de uitwendige contaminatie waardoor interne contaminatie wordt vermeden, anderzijds op de noodzaak van de whole body of schildkliermeting ter bevestiging of kwantificatie van de interne contaminatie. Deze laatste controle metingen zouden legaal moeten worden verplichtend gemaakt.

3.2. door uitwendige bestraling

3.2.1. Algemene lichaamsbestraling

De dosis geregistreerd door de borstzakdosimeter geeft een idee over het stralenbad, waarin het personeelslid in kwestie vertoeft. Dit stralenbad is afkomstig van het eluaat, vooraleer de afzonderlijke doses worden gereedgemaakt, van de individuele doses tijdens merking, conditionering en injectie, van de patiënten en hun excreta, die eveneens als stralingsbron kunnen fungeren.

Diagnostische toepassingen

In het eerste stadium van de preparatie kan de stralendosis reeds herleid worden door het gefractioneerd opsturen vanaf het hot lab van het eluaat. Deze frakties worden dan ogenblikkelijk op-

geborgen in aangepaste containers zodanig dat de merking reeds weinig gevaar oplevert. De toediening van de dosis aan de patiënt onder vorm van een intraveneuse injectie kan, behalve in uitzonderlijke gevallen, gebeuren met een geblindeerde spuit met een lood of loodequivalente bescherming van 2 - 5 mm.

Beide voormelde voorzorgen werden in samenwerking met de dienst radioprotectie na voorafgaandelijke studie uitgevoerd in 1974. Uit het overzicht van de jaarlijkse stralendosis van bepaalde personeelsleden (fig. 3) is de invloed zichtbaar van beide hogervermelde voorzorgen. Bij de laboranten, belast met de exploratie van de patiënten met injectie onder de gamma camera, daalt de algemene stralendosis op een dramatische manier. Ook bij een personeelslid belast met de fractionering, merking en deels injectie van de patiënten is de daling zichtbaar mede veroorzaakt door een verdelen van deze functie over twee personen. Wat ook opvalt is de relatief hoge belasting van het personeel in de omgeving (secretariaat en in vitro laboranten). Deze laatste blootstelling verminderde eveneens duidelijk door het invoeren van het geblindeerd vervoer binnenin de dienst en de geblindeerde bewaring in een speciaal karretje in de omgeving van de gamma camera van de individuele testdoses.

Na 1974 merkt men dat niettegenstaande de verdere toename van het aantal prestaties de algemene stralendosis praktisch voor iedereen zeer laag blijft met een wat hogere dosis voor een personeelslid dat instaat voor conditionering, merking en injectie van de individuele testdoses.

In het licht van deze gegevens kan men twee belangrijke conclusies trekken:

- 1) hoewel er een stijging van het aantal prestaties heeft plaatsgehad met de daarbij horende toename van de gemanipuleerde doses heeft het invoeren van eenvoudige beschermingsmiddelen, een reorganisatie van de dienst met betere personeelsbezetting en de oprichting van een onderafdeling radiofarmacie (alhoewel de daling reeds vroeger optrad) tot gevolg gehad dat de jaardoses tot een zeer laag niveau zijn gedaald. Bij een jaarlijkse manipulatie van 20 curie ^{99m}Tc , 2,6 curie ^{131}I , 1,3 curie ^{133}Xe en een 1,3 curie andere isotopen, bedroeg de gemiddelde

EVOLUTIE JAARLIJKSE STRALEN DOSIS PERSONEEL NUCLEAIRE GENEESKUNDE
A.Z. K.U. LEUVEN

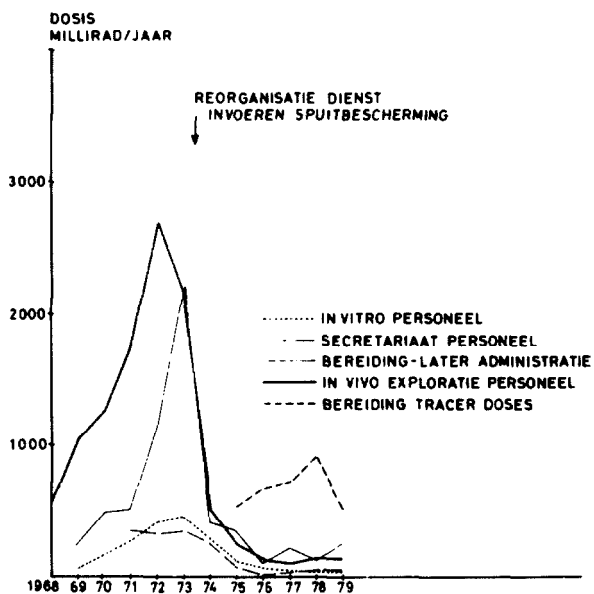


Fig. 3.

totale lichaamsdosis van het personeel 155 millirem/jaar (in vitro laboranten niet meegerekend), 257 millirem voor het personeel belast met dosisbereiding en- injectie, 104 voor de anderen. De gemiddelde jaardosis voor alle gecontroleerde personeelsleden aan het A.Z. K.U.Leuven bedroeg voor hetzelfde jaar 1979 89 millirem.

- 2) indien de dosis voor het personeel van de nucleaire geneeskunde reeds laag is zal dat a priori waar zijn voor het personeel van andere diensten waar ofwel zieken zijn gehospitaliseerd die tracers voor diagnostische doeleinden ontvingen ofwel patiënten die door middel van de mobiele gamma camera isotopen exploratie aan bed ondergaan (8). De soms sterk overtrokken reacties van het verplegend personeel of de geneesheren wijst op een volslagen gebrek aan voorlichting in het domein van de radioprotectie. Hierbij moet worden opgemerkt dat in het opleidingscurriculum van de geneesheren met geen enkel woord over dit probleem wordt gerept hetgeen tot gevolg heeft dat vooral in verband met het gebruik van radioisotopen in het ziekenhuis een ongewettigde vrees bestaat.

Therapeutische toepassingen

De gegevens van de totale lichaamsdosis van het verplegend personeel van de geblindeerde isolatiekamers kunnen niet worden geanalyseerd daar in deze ruimten, benevens patiënten met radiojood behandeling ook patiënten met radium applicatoren worden gehospitaliseerd. Wat er ook van zij, de doses van deze verplegenden (met hoge personeelsturnover) waren niet overdreven.

3.2.2. Locale bestraling

Aan de hand van een uitgebreide literatuur dienaangaande mag men aannemen dat het prepareren en manipuleren van hoge tracerdoses alleen een risico inhoudt voor de uiteinden van de vingers. Steeds dezelfde plek op de vingeruiteinden krijgt een niet te onderschatten dosis zoals blijkt uit aangegeven tabel 1. (9, 10, 11).

Afgaande op de gegevens van Henson en medewerkers (9) zou bij 40 injecties per week van een tracerdosis van 10 mCi Tc de huiddosis oplopen tot 50 % van de maximaal toelaatbare huiddosis ttz. ter hoogte van het lege deel van de spuit 1500 millirad/week met ter hoogte van de vingertop, tegenaan de radioactieve vloeistof, doses

Tabel I: HUIDDOSES THV. VINGERS BIJ MANIPULATIE VAN ONBESCHERMDE ^{99m}Tc HOUDENDE SPUITEN
 EN ELUAATFLESJES

	THV. DOSIS	THV. UITEINDE SPUIT	THV. UITEINDE VAN DE STAMPER
CLAYTON (10 ml. spuit)	160 millir./60 sec.	8 millir./60 sec.	-
BRU (ml. ?)	250 millir./uur	120 millir./uur	-
HENSON (0,5 ml. in 2 ml. spuit)	200 millir./15 sec.	5.3 millir./15 sec.	1.1 millir./15 sec.
(2 ml. in 2 ml. spuit)	105 millir./15 sec.	4.7 millir./15 sec.	1.0 millir./15 sec.
ANDERSON	1 600 millir. per curie ingespoten 200 millir. per curie ingespoten		

van 4 - 7 rad/week, steeds zonder loden omhulsel rondom de spuit. Het aanbrengen van een omhulsel herleidt de bestralingsdosis van de huid tot 2 % met een 5 mm. loden omhulsel. Zelfs met dunnere en meer handige spuitbeschermers blijft de dosis op de vingertoppen laag en ruim binnen de toelaatbare grenzen met reductiefactoren van 70 tot 150.

4. Besluit

Niettegenstaande het ogenschijnlijk risico van de manipulaties met open isotopenbronnen met grote activiteit, is het onze ervaring dat nucleaire geneeskunde kan worden bedreven zonder overdreven risico voor het personeel mits het onderhouden van de elementaire regels betreffende werkwijze en het toepassen van eenvoudige beschermingstechnieken.

De manipulatie van grote hoeveelheden radiojood voor therapie van het schildkliercarcinoom blijft echter gevaarlijk en vergt continue controle alsmede bijzondere technieken zowel wat betreft dosismanipulatie als verpleging. Het is tenslotte evident dat voor het bereiden van de optimale werkvoorwaarden een goede samenwerking nodig is tussen de geneesheren nuclearisten en een controle organisme, dat op zijn beurt voldoende ervaring en aangepast meetmateriaal moet bezitten om het contaminatiegevaar te detekteren en de uitwendige stralingsbronnen te localiseren en te meten.

REFERENTIES

- (1) PRETSCHNER, J.P., Eur. J. Nucl. Med., 5, (1980) 175.
- (2) GLÖBEL, B., Nucompact, 8, (1977) 193.
- (3) SCHONKEN, P., Persoonlijke mededeling, (1980).
- (4) SHLEIEN, B. et al., J. Nucl. Med., 7, (1971) 523.
- (5) NISHIYAMA, H., et al., Radiology, 135, (1980) 467.
- (6) LEBLANC, A. et al., Health Phys., 21, (1971) 332.
- (7) COMMISSIE RADIOPROTECTIE, Belgisch Genootschap Nucleaire Geneeskunde, J. Belge Radiol., 63 (1980) in druk.
- (8) MURPHY, P.M., Health Phys., 35, (1978) 565.
- (9) HENSON, P.W., Brit. J. Radiol., 46 (1973) 972.
- (10) ROBILARD, J., et al., Aten, (1975) 13
- (11) ANDERSON, D.W., J. Nucl. Med., 13, (1972) 627

RESUME

Après avoir esquissé la situation actuelle de la médecine nucléaire en Belgique, l'évolution de la médecine nucléaire est étudiée tant en ce qui concerne les aspects quantitatifs (quantité de traceurs utilisés, nombre de procédures, nombre de médecins agréés) que les aspects qualitatifs (utilisation préférentielle de traceurs à courte demi-vie à énergie moyenne, plus grande utilisation des explorations in vitro). En fonction de ces données le danger d'irradiation du personnel est évalué. Ces dangers peuvent être occasionnés tant par une contamination interne que par une irradiation externe. De cette étude il apparaît que moyennant une bonne méthode de travail, l'emploi d'accessoires de protection simples et une collaboration active d'un organisme de contrôle physique, la dose d'irradiation du personnel reste basse même lors de l'emploi de grosses doses thérapeutiques.

SUMMARY

After a survey of the actual situation of nuclear medicine in Belgium, the evolution of nuclear medicine is studied with regard to quantitative aspects (tracer quantities, number of radioisotopic explorations, number of certified doctors) and qualitative aspects (use of short living isotopes emitting low energy radiation, introduction of in vitro tests). Taking these data into consideration, the exposure of nuclear medicine staff by external or internal radiation is evaluated. From this study it appears that the radiation exposure of the personnel of nuclear medicine departments remains low if proper manipulation methods and simple protective devices are used and if there is an efficient collaboration with an active health physics department or radiation control organism.

ZUSAMMENFASSUNG.

Nach einem Situationsbericht über den augenblicklichen Stand der Nuklearmedizin in Belgien wird die Entwicklung auf diesem Gebiet beschrieben anhand von Quantitativen Änderungen (Menge an eingesetzten Radiotracer, Anzahl medizinischer Methoden, Anzahl zugelassener Nuklearmediziner) und anhand von qualitativen Änderungen (Einsatz von Kurzlebigen Tracern mit mittleren Strahlungsenergien, in vitro Methoden). In Abhängigkeit von diesen Daten wird die Bestrahlungsgefahr des Personals sowohl durch innere Kontamination als auch durch äussere Bestrahlungsdosen abgeschätzt. Durch genau abgestimmte Arbeitstechniken, einfache Strahlenschutzmittel und enge Zusammenarbeit mit einem offiziellen Organ der Strahlenschutzüberwachung kann die Dosisbelastung des Personals niedrig gehalten werden, selbst für die hohen Strahlendosen die bei der Isotopenbehandlung appliziert werden.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 6, n° 3-4 (1981).

R A D I O I M M U N O A S S A Y .

Ch. J. FALLAIS
 Chef de la Division Biomédicale
 I.R.E. - 6220 Fleurus.

ABSTRACT.

The principle of radioimmunoassay is presented with a description of the labelling procedure, the production of antibodies, their specificity and the separation methods for bound and free antigens. Some methods using labelled antibodies are given with considerations on their reliability and quality control.

Principle of Radioimmunoassay

In 1959, YALOW and BERSON proposed the first radioimmunoassay for insulin. During the last decade, this method has been adapted to the assay of many hormones in biological fluids. In this text, we will discuss some methodological aspects related to the measurement of peptide hormones by radioimmunoassay. The basic principle of the radioimmunoassay is presented in the following chemical equations .

Labelled antigen	Specific antibody	Labelled antigen-antibody complex
Ag^x	+ Ab	$\rightleftharpoons Ag^x Ab$
	+	
	Ag	unlabelled antigen (standard or unknown)
	↓	
	AgAb	unlabelled antigen-antibody complex

If the amount of labelled antigen (Ag^x) and specific antibody (Ab) remains constant, an increasing amount of unlabelled antigen (Ag) causes inhibition of the binding of the labelled antigen to the antibody. It is then possible to establish a reference curve with the known amount of unlabelled antigen and to estimate the content of unknown samples using this curve.

Antigens and antibodies possess properties which make the detection of minute quantities (picograms and nanograms) possible. An understanding of these properties is necessary for the proper evaluation and troubleshooting of any radioimmunoassay. They are, therefore, the main topic of this chapter.

Antigens

Antigens are molecules which can cause an immune response in the animal (host) into which they are introduced. In order to be immunogenic, an antigen molecule must be recognized as "foreign" by the host. The host must view the antigen molecule as "nonself".

Most antigens are polysaccharides or proteins of greater than 10,000 molecular weight. A smaller molecule may be made immunogenic by binding it to a larger protein molecule before introducing it into the host. Often, the larger protein molecule is the host's own albumin, so that the immune response is directed to the smaller molecule only. The smaller molecule is then referred to as a hapten and the larger, a carrier. Many RIA procedures involve the measurement of small molecules such as drugs and the steroid hormones, digoxin and cortisol. Such molecules must be conjugated to protein to elicit an immune response and are, therefore, haptens.

An antigen molecule may have many individual structural sites, each capable of eliciting an immune response. These are called antigenic determinant sites. Two different antigens may have one or more antigenic determinant sites which are identical or nearly identical.

The initial immune response of a host to an antigen is thought to be the phagocytosis of the antigen. From this initial response, information regarding the specific structure of the antigen is used by the host in antibody production.

Antibodies

Antibodies are proteins produced by the plasma cells and B-lymphocytes of the host. An antibody's function is to combine with the antigenic determinant that elicited its response. The ultimate result is the elimination of the antigen from the body. This may occur by the inactivation or the breakdown of the antigen molecule itself, or by triggering the phagocytosis of the antigen by leukocytes.

Antibodies will bind to antigens not only in the host, an in vivo reaction, but also in a test tube under the proper conditions, an in vitro reaction. In vitro antigen-antibody reactions are the basis of serological and immunochemical reactions such as RIA.

Antibodies consist of four polypeptide chains held together by disulfide bonds. Two chains are relatively short and referred to as light chains. The other two are longer and are called heavy chains. There are five classes of antibodies, or gamma globulins, called immunoglobulins (Ig). The antibodies used in RIA are almost exclusively of the immunoglobulin G (IgG) class.

The part of an antibody capable of binding an antigen is called the antigen binding site. Some investigators describe the binding site as a cavity on the terminal portion of the heavy chain, where the sequence and arrangement of amino acids produces a configuration into which the antigenic determinant fits. Each antibody molecule has two binding sites which are identical. A very similar antigenic structure may fit partially into this cavity, an activity termed cross-reaction. Another form of cross-reaction occurs when two different antigens have one or more of the same antigenic determinants. An antibody formed in response to one of these antigens is, of course, incapable of distinguishing between the two. A case in point is human chorionic gonadotropin (HCG). HCG consists of two chains, an alpha chain and a beta chain. Luteinizing hormone (LH) has an alpha chain exactly like the alpha chain of HCG. Antibodies formed to the alpha chain of the HCG molecule will, therefore, react with LH also. To prevent this kind of cross-reaction, it is necessary to separate the alpha and beta chains of HCG and produce antibodies to the beta chain only. Sometimes it is impossible, too difficult, or too expensive to separate the common antigenic determinants from the specific ones before producing antibodies. To measure only one of the antigens when both are present in the same sample, it is necessary to remove the cross-reacting antigens first. An RIA method for estradiol, for instance, requires extraction of the estradiol from the sample into benzene before quantitation.

Labelling procedures

For proteins and polypeptides containing tyrosine residues, the method most used is labelling with radioactive iodine (^{131}I or ^{125}I). The reaction consists of substitution of radioactive iodine, produced by iodide oxidation in the presence of protein.

For radioimmunoassay purposes the first method used was the iodine monochloride method in which radioactive iodide is oxidized to radioactive iodine equilibrated with iodine chloride, and is then reacted with protein. However, in order to obtain moderately high specific activity, large amounts of radioactive iodide are required.

The chloramine-T method is currently the most widely in use. The oxidation of iodide is performed using chloramine-T.

The original method due to HUNTER and GREENWOOD has been adopted for a great number of proteins and modified with respect to the amount of reagents and reaction time, to minimize the damaging effect of chloramine-T on proteins.

A high specific activity for the labelled antigen is desirable in view of the expected increase in the sensitivity of the inhibition curve.

When the labelled antigen has to be stored for a few weeks, it is not desirable to label it at the highest possible specific activity. Indeed radiation damage during storage is more important when the specific activity is high. See below the increase of damage by radiation for thyroid stimulating hormone (TSH) at different levels of specific activity.

Degradation of labelled TSH during storage. Values given are $\frac{B_0}{T} \times 100$ *

Days after labelling	TSH with a specific activity ($\mu\text{Ci}/\mu\text{g}$) of			
	63.5	114	225	750
0	37.3	24.5	36	33.5
15	29.5	23	22.7	14.9
30	23.4	16	12.7	4.7

* B_0 = Bound radioactivity in the absence of labelled antigen

T = Total radioactivity

The use of high chloramine-T concentrations may result in a degradation of the hormone. By gel filtration on sephadex G75 of prolactine labelled with 10 and 100 μg of chloramine-T, a different shape of the elution curve occurs.

When the hormone was labelled with 100 μg of chloramine-T, the radioactivity was eluted as a wide asymmetrical peak followed by another smaller peak ; the first peak was not immunoreactive and corresponded to denatured hormone. Most of the prolactin, labelled in the presence of 10 μg of chloramine-T, was eluted as a symmetrical peak containing the immunoreactive hormone.

When inhibition curves with the two labelled prolactine are determined, an optimal sensitivity is obtained with the prolactin tracer by using 10 μg of chloramine-T.

A method described as gentle and simple and which has begun to replace progressively the chloramine-T method is enzymatic radioiodination using lactoperoxidase (LPO) as oxidizing agent in the presence of hydrogen peroxide. This method generally gives higher binding capacity in the absence of unlabelled antigen indicating less degradation. In a comparison of follicle-stimulating hormone (FSH), luteinizing hormone (LH) and thyroid stimulating hormone (TSH) labelled by the two different methods to the same specific activity, material labelled by the LPO method was found to exhibit consistently higher binding capacity.

Two factors apparently determine the stability of the labelled hormone : its nature and the specific activity. Binding capacity is expressed as a percentage of binding on day 0. In every case it is found that the percent binding observed on days 15 and 30, respectively, is independent of the technique used for iodination.

BOLDTON and HUNTER have introduced a very interesting method where no oxidizing agent comes in contact with the polypeptide. The hydrosuccinimide ester of 3-(4-hydroxyphenyl)-propionic acid is first labelled by the chloramine-T method, extracted and dried. Then this prelabelled compound is conjugated with the peptide.

Steroids and other synthetic substances are generally labelled with tritium, but to enhance their specific activity they may be conjugated with tyrosine methyl ester in order to label them with radioactive iodine.

After labelling, the products must be submitted to appropriate purification. Depending on the nature of the hormone, several methods such as gel filtration, ion exchange chromatography, or gel electrophoresis can be used.

Production of Antibodies

The second difficulty in setting up a radioimmunoassay is the production of antibodies. The production of antibodies involves several factors :

- 1) The species of animal used. Some species respond to a particular antigen better than others. The ability of the animal to recognize the antigen as foreign is, of course, essential. The more foreign the antigen, the greater the immunological response.

- 2) Purity of the antigen. The presence of other immunogenic substances in the material to be introduced into the animal will result in the production of antibodies to these substances also. If the additional substances are closely related structurally to the antigen for which an antibody is desired, there will be built-in cross-reaction. In most cases, this is not desirable, and the antigen is usually purified as carefully as possible before introduction into the animal.
- 3) Other factors such as the dose of immunogen, the number of injections given, and the route of administration are important.

The usual method is to inject as many animals as possible with the antigen. Radioimmunologists often use rabbits or guinea pigs because they give reasonable amounts of antiserum after injection of relatively small quantities of antigen. The techniques for injection vary according to the routes of administration: intraperitoneally, subcutaneously, intradermally, intravenously or via the lymph nodes. Generally, 0.2-2 mg of the antigen is injected as a suspension in Freund's adjuvant. Frequency of injection varies from one author to another, but it seems that injections should normally never be given more often than once a month. Animals should begin to produce antibodies after 3 or 4 weeks. Control of antibody titer should be done 4 weeks after the first injection, and 1 week after booster injections. Recently, specific antisera to subunits of human chorionic gonadotropin (HCG) were obtained with a little as 10-100 μ g of antigen. The antigen suspension in Freund's adjuvant was injected intradermally at 30-50 sites on the backs of rabbits. Without further injections, satisfactory antisera were obtained within 50 days.

The larger molecular weight protein hormones (growth hormone GH - thyroid-stimulating hormone TSH - HCS human chorionic comatomammotrophin: molecular weights higher than 15,000) generally elicit a good antigenic response. Smaller peptides (mol. wt. \leq 5,000) have either low antigenicity or none at all, and must then be attached to a carrier (inert particles, synthetic macromolecules or natural proteins) to produce an antigenic response. These substances behave than as "haptens" (lipids, polysaccharides, steroids) must also be attached to a carrier to become antigenic.

Specificity of Antibodies

The antiserum must be specific. It is well established that in the case of glycoprotein hormones (LH, FSH, HCG) the problem is more complicated. The glycoprotein hormones consist of two subunits α and β linked by non-covalent bonds. The α subunit is chemically similar and immunologically identical in all four hormones, whereas the β subunit is different and confers the biological specificity. An antiserum prepared against the native hormone may react with antigenic determinants specific of the quaternary structure of the hormone resulting from the association of the α and β subunits. An example of such an antiserum for HCG has been obtained. Antibodies may also be directed against antigenic determinants which are specific for the isolated α or β subunits. As there is complete cross-reaction between the α subunits of HCG, FSH, LH and TSH, anti-HCG- α antisera are capable of reacting with all four glycoprotein hormones. The β subunits of LH and HCG share common antigenic determinants ; therefore, anti-HCG and anti-HCG- β antisera may recognize LH as well as HCG.

An incomplete cross-reaction of several glycoprotein hormones in an FSH radioimmunoassay may be observed. This cross-reaction can be attributed to the existence of a population of antibodies directed against antigenic determinants of the common α subunits of these hormones. After neutralization with 2 ng HCG this antiserum becomes specific for FSH.

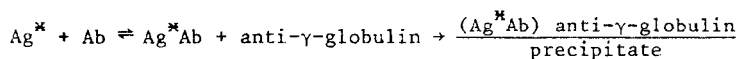
Separation of Bound and Free Antigen

The fourth requirement for radioimmunoassay is a good separation method between the bound and the free antigen. The first separation method was paper chromatoelectrophoresis. This method is very discriminative but has a number of disadvantages : laborious, time-consuming and expensive regarding equipment.

The antigen-antibody complex (bound fraction) can be precipitated with various organic solvents or inorganic salts such as acetone, ethanol, dioxane, sodium or ammonium sulfate or polyethylene glycol. This method is very simple, but serum proteins frequently interfere and the separation between "bound" and "free" antigen is often incomplete.

To assay antigens like ACTH, insulin, LH and calcitonin, it is possible to absorb the free antigen on powdered silicate glass, cellulose, or dextran-coated charcoal. This simple separation method must be well standardized, the completeness of the separation being affected by other serum proteins.

The more widely used and more practical method for the separation of bound and free antigens is the double antibody technique. In this method a second antibody is used to precipitate the initial antigen-antibody complex. Generally, inert γ -globulins are added to the medium to increase the amount of precipitated proteins. The precipitate is isolated either by centrifugation or by filtration. The second antibody is produced in a large animal (sheep or goat) into which is injected γ -globulin from the animal used to obtain the specific antiserum.



One of the main problems occurring in the double antibody technique is the need to find the optimal zone of precipitation : this is the correct ratio between anti- γ -globulins and the γ -globulins of the medium. This is one of the reasons why solid phase separation methods were developed. In these methods, the antibodies are bound to an insoluble solid matrix. Two approaches have been used, in which the specific antibody or the second antibody are attached to the insoluble matrix. In both cases, the antibodies being insolubilized, the separation between bound and free antigen is very quick and easy. The antibodies can be chemically bound to solid matrices, such as bromoacetyl cellulose, cyanogen activated cellulose or sephadex and enzacyrl AA. The complex antibody - solid matrix is called "antibody-immunoadsorbent". The antibodies can also be physically adsorbed on polypropylene discs or polypropylene or polystyrene plastic tubes. Some authors have also succeeded in obtaining insoluble antibodies by polymerization with ethyl chloroformate or glutaraldehyde.

Solid phase techniques in which the specific antibody is bound to the solid matrix are less sensitive and less reproducible than the double antibody technique.

More reliable and easier to perform in practice is the method in which the second antibody is covalently bound to a solid phase (DASP). These immunoabsorbents are highly stable and can be used against all antibodies of a particular animal species.

The LH reference curves obtained with DASP are superimposable to those obtained with the double antibody method. Also, there is a good correlation between serum LH levels determined with both methods.

Methods Using Labelled Antibodies

Recently, insolubilized antigen (called "antigen-immunoabsorbent") has been used to extract specific antibodies from an antiserum for labelling purposes. The antigen is chemically bound to diazotized cellulose or cyanogen-activated cellulose. The antibodies are labelled with radioactive iodine when bound on the antigen-immunoabsorbent to protect at least one antibody site. The antibodies are eluted after labelling, using acidic buffer or chaotropic agents (urea, guanidine) to split the antigen-antibody complex.

Two different procedures involving labelled specific antibodies are described for antigen assay. In the first, called immunoradiometric assay, an excess of labelled antibody is reacted with the antigen to form the antigen-labelled antibody complex. The unreacted antibodies are then removed by adding a large excess of antigen-immunoabsorbent. After centrifugation, the supernatant contains the initial antigen-labelled antibody complex, and the radioactivity measured is directly related to the initial amount of antigen.

Antigen	Labelled antibody	Antigen-labelled antibody complex	Free antibody
Ag	+ Ab [*]	→ Ag-Ab [*]	+ Ab [*]
	Immunoabsorbent antigen		+ Imad-Ag
	Ag-Ab [*]	+	↓ Imad-Ag-Ab [*]
	Supernatant counted		Discarded by centrifugation

In the second procedure, called the "sandwich" method or "two-site assay", an antibody-immunoabsorbent is used to extract the antigen from the biological fluids.

After washing to remove other proteins, the bound antigen on the immunoabsorbent is then "revealed" by adding labelled specific antibodies. The reactivity bound on the immunoabsorbent is then directly related to the initial amount of antigen. This method, therefore, really involves extraction of the antigen from the biological fluids before assay. The sensitivity achieved is very high.

Imad-Ab	+	Ag	→	Imad-Ab-Ag
Immunoabsorbent antibody		Antigen		- centrifuged - washed
Imad-Ab-Ag	+	Ab ^x	→	Imad-Ab-Ag-Ab ^x
		Labelled antibody		- centrifuged - washed - counted

The Immunologic System Must be Applicable to Biological Media

There must be complete identity between the reference antigen and antigen present in the biological fluid. This can be tested by establishing the existence of a parallelism between the reference hormone preparation and the hormone present in the biological media.

The biological media can disturb the formation of the Ag-Ab complex (urea, pH, temperature, serum protein). Such possible artefacts should always be controlled.

To prepare all the reagents described above, the laboratory needs a very various equipment assembling chemical laboratory equipment (electrophoresis, immunoelectrophoresis, isotachopheresis, gel filtration, evaporators, sophisticated centrifuge devices,...) and pharmaceutical equipment like

automatic solution dispenser, vial filling station, stopping and capsulating devices, freeze-dryers, cold rooms and freezers.

The field of use is practically unlimited. At now the radioimmunoassay is developed for the nuclear medicine in the following directions :

- fertility : steroids, gonadotrophins ;
- cancer : cancerous antigen ;
- cardio-vascular diseases : specific antigens or enzyme ;
- toxicity of drug uses : high activity drugs ;
- haematology, rhumatology, oncology ;
- viral infections.

Now is started an activity in the veterinary field by determination of antigens for endemic or epidemic diseases.

RIA Quality Control

Because of its special nature, quality control is particular for radioimmunoassay.

In order to check the reliability of the results, it is necessary to establish a quality control system. The following parameters have to be studied.

- Specificity :

Can be defined as the ability of the assay to estimate solely the type and kind of antigen it is intended to measure ; it depends on three factors :

- (1) immunological cross-reactions which characterize an antiserum ;
- (2) presence of labelled impurities ;
- (3) interference of incubation medium.

- Sensitivity :

Is related to the minimum detectable amount of the antigen to be estimated. The limit of detection can be defined as the smallest amount of antigen which can be distinguished from a suitable blank, with a 95 % probability.

- Precision :

May be defined as the variation in the estimation of antigen. It depends on the error of determination of the bound labelled antigen and on the slope of the curve.

- Reproducibility :

The precision of the estimates is implied to mean a measure of the reproducibility. This means within-assay and between-assay reproducibility.

- Accuracy :

Accuracy may be defined as the closeness of estimated values to the true values. It can be evaluated by identity between reference samples and the antigen present in the biological fluid.

A serum known to contain a high level of antigen must show, after a progressive dilution, an inhibition curve parallel to the one obtained with the reference preparation.

Another test for accuracy is the recovery test of reference antigen added to the biological fluid in amounts ranging within the measurable levels.

Quality Control is not only important in the production laboratory but also in the medical laboratory. Now different nations organize a national quality assay system by collecting results for unknown samples sent by the central control office. So that not only the reagents are tested but also the devices, and the capability of the laboratory.

SAMENVATTING.

De auteur beschrijft het principe van de radioimmunologie, de techniek van markering, de produktie van antilichamen met hun eigen specificiteit alsook de scheidingsmethode van gebonden en vrije antigenen. Hij citeert verder enkele methodes die gebruik maken van gemerkte antilichamen met beschouwingen over hun betrouwbaarheid en kwaliteitskontrolle.

RESUME.

L'auteur décrit le principe de la radioimmunologie, le procédé de marquage, la production d'anticorps avec leur spécificité ainsi que les méthodes de séparation des antigènes liés et libres.

Il donne également certaines méthodes d'utilisation d'anticorps marqués avec certaines considérations sur leur fiabilité et le contrôle de qualité.

ZUSAMMENFASSUNG.

Der Autor beschreibt das Prinzip der Radioimmunologie, die Technik der Markierung, die Produktion von Antikörpern und ihre spezifischen Eigenschaften sowie die Trennungsmethoden für gebundene und freie Antigene.

Er stellt einige Methoden der Verwendung von markierten Antikörpern dar sowie Überlegungen über ihre Zuverlässigkeit und Qualitätskontrolle.

LE CONTROLE PHYSIQUE DES RADIATIONS IONISANTES
DANS LES APPLICATIONS MEDICALES.

DELHOVE J.

CONTROLATOM - Organisme agréé - A.S.B.L. - BRUXELLES.

RESUME.

Le contrôle physique des radiations ionisantes repose sur les recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique et les dispositions réglementaires de l'Arrêté Royal du 28 février 1963.

L'organisation et les missions du service de contrôle physique sont analysées. L'article montre l'étendue et la complexité des tâches du contrôle physique axées sur la prévention du risque et son contrôle à postériori. Il met l'accent sur les difficultés et les lacunes rencontrées, fruit d'une expérience pratique de ces contrôles.

1. Fondement de la radioprotection - Objectifs.

La radioprotection se base sur l'observation des effets nuisibles des radiations ionisantes sur les groupes d'individus irradiés : travailleurs contaminés au radium, malades traités par des rayons, victimes des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki ou sur les résultats d'expériences effectuées sur l'animal.

Pour les doses importantes de l'ordre de 100 rad et plus, on a pu établir une relation de proportionnalité entre les doses reçues et la probabilité d'apparition d'effets nuisibles tels que la leucémie, le cancer ou les effets génétiques.

Pour les faibles doses qui sont essentiellement du domaine couvrant de la radioprotection, il n'a pas été possible de mettre en

évidence une relation entre les doses et les effets. En effet, le nombre de cas de cancers ou d'effets génétiques éventuellement ajoutés par les radiations ionisantes est masqué par le nombre important de cas, résultant de causes naturelles ou artificielles autres que les radiations, observés sur un groupe témoin non exposé aux radiations ionisantes.

Pour pallier à cette lacune, la Commission Internationale de Protection Radiologique qui depuis 50 ans fait autorité en la matière a retenu deux hypothèses de travail concernant la relation dose - effet.

Elle postule :

1. l'absence de tout seuil d'apparition des effets ;
2. une relation linéaire entre la dose reçue et les conséquences dommageables pour les individus.

En d'autres termes, la relation de linéarité entre la dose et l'effet, observée aux doses élevées, est extrapolée jusqu'à l'origine ; il en résulte que, par hypothèse, toute dose, aussi faible soit elle, présente un risque.

Ces hypothèses sont considérées comme prudentes. Elles servent à établir les bases normatives et une doctrine en matière de radioprotection. Les objectifs de la radioprotection fixés par l'Arrêté Royal du 28 février 1963 portant Règlement Général en matière de Protection des Travailleurs et de la Population contre le Danger des Radiations sont :

- de limiter l'exposition des personnes et des travailleurs à des valeurs aussi faibles que possibles et de réduire autant que possible le nombre de personnes et de travailleurs exposés ;
- d'assurer qu'aucun travailleur ou membre d'un groupe particulier de la population ne reçoive de dose excédant les doses maximales admissibles.

Ces objectifs viennent d'être précisés dans la publication 26 de la Commission Internationale de Protection Radiologique.

Il est utile de les rappeler brièvement car ils vont déterminer l'évolution de notre réglementation.

Ces objectifs sont : la justification, l'optimisation et la limitation.

1) La justification :

Toute nouvelle technique utilisant des radiations ionisantes doit être justifiée, c.à.d. qu'elle doit constituer un bénéfice pour l'homme et la société. Elle ne se justifie pas si on peut lui substituer des techniques moins agressives.

2) L'optimisation :

Il faut réduire les doses autant que possible (c'est le principe ALARA - As Low As Reasonably Achievable).

Cet objectif a un caractère arbitraire qui a dû être précisé par un Critère d'Optimisation : l'effort d'amélioration de la protection doit être poursuivi aussi longtemps que le coût social et économique des moyens de protections supplémentaires ne dépasse pas le bénéfice de la réduction de la dose collective (ou de détriment) qui peut en résulter.

3) La limitation :

Les doses reçues par chaque individu ne peuvent excéder les doses maxima admissibles fixées pour le groupe de personnes, travailleurs professionnellement exposés, population du voisinage ou population dans son ensemble auquel il appartient. L'évolution des objectifs de radioprotection est sensible. Les doses maxima admissibles ne peuvent plus être considérées comme un seuil de risque du type "Tout ou Rien", mais bien comme un niveau de risque acceptable par la société et fixé par l'autorité compétente.

Les avantages d'une technique doivent être mis en balance avec la charge (le détriment) que cette technique occasionne à la société.

- de catégorie B 1,5 rem par an
- Pour la population au voisinage des installations : 0,5 rem/an
- Pour la population dans son ensemble : 5 rem/ 30 ans.
- Les doses reçues aux organes particuliers sont fixées comme suit pour les travailleurs de catégorie A :
- Dose aux organes internes : 4 rem par trimestre
15 rem par an
- Dose à la peau : 8 rem par trimestre
30 rem par an
- Dose aux extrémités : 15 rem par trimestre
60 rem par an.

En ce qui concerne le risque d'irradiation interne, la réglementation a fixé pour chaque isotope les Concentrations Maxima Admissibles dans l'air et dans l'eau de boisson qui, pour une exposition chronique conduisent à la dose maxima admissible aux organes critiques.

Ces valeurs doivent, depuis l'A.R. du 23.12.70, être considérées comme des moyennes portant sur 13 semaines consécutives (à raison de 168 heures par semaines).

L'ingestion en une fois d'une quantité correspondant à la quantité totale pouvant être ingérée en 13 semaines ne peut être admise qu'à titre exceptionnel.

4. Domaine d'application du Contrôle Physique.

Les radiations ionisantes sont utilisées principalement dans quatre domaines du secteur médical :

- le diagnostic radiologique
- la radio- et curiethérapie
- les radioisotopes in vivo
- les radioisotopes in vitro.

Les sources de rayonnement à contrôler sont variées :

- 1) les appareils émetteurs de rayonnement : appareils à rayons X, accélérateurs de particules (émetteurs d'électrons ou de rayons X de haute énergie), les appareils de gammathérapie (bombe au cobalt) ...

- 2) les sources scellées, grains (Or ou Yttrium) les aiguilles (radium, Césium) les fils (Iridium) les applicateurs, etc.
- 3) Les sources ouvertes, en solutions (Iode, Technetium etc.) et sous forme gazeuse (Xenon, Krypton etc.)

La mise en oeuvre des radiations ionisantes présente un risque d'irradiation professionnelle pour un nombre croissant de personnes affectées :

- à la préparation et l'administration des doses
- au positionnement des patients, à la surveillance et parfois à la tenue des patients en cours d'examen, etc.
- à l'assistance des médecins en cours d'examens spéciaux, en salle d'opération, etc.
- au soin des personnes ayant subi un examen ou un traitement par radioisotopes
- au transport et à l'évacuation des substances radioactives et déchets
- au dépannage, entretien, réglage des appareils émetteurs de rayonnement, etc.

Outre le personnel professionnellement exposé, il existe un risque pour le personnel séjournant au voisinage des installations ou des locaux et pour le personnel appelé occasionnellement à pénétrer dans les locaux où sont mis en oeuvre des appareils ou des sources. Enfin, la protection concerne également le patient, avec pour objectif d'éliminer toutes les irradiations intempestives (c.à.d. sans utilité pour le diagnostic) en considérant tout particulièrement la protection des organes sensibles (gonades) ou d'un foetus potentiel.

5. Organisation de la radioprotection - Responsabilité.

La réglementation belge impose au chef d'entreprise d'organiser un service de contrôle physique de protection.

Le chef du service de contrôle physique doit être un expert agréé. A défaut d'avoir un expert agréé à son service - ce qui est le cas pour la grande majorité des établissements médicaux, l'entreprise

doit confier les missions de contrôle physique à un organisme agréé.

Les missions attribuées au chef de contrôle physique ou à l'organisme agréé ne préjudicient en rien à l'autorité et aux responsabilités du chef d'entreprise.

Sur place, c'est le préposé à la surveillance, désigné pour chaque installation, qui doit assurer en matière de sécurité le relai entre les travailleurs et les responsables de la sécurité.

Le préposé à la surveillance doit veiller au respect des mesures de sécurité et au bon fonctionnement des dispositifs de sécurité.

Il doit, en cas d'accident, prendre les mesures de protection d'urgence et prévenir le chef de service sécurité hygiène, le contrôle médical et le service de contrôle physique. (art. 30.4 - A.R.).

La radioprotection est l'affaire de tous les travailleurs de l'entreprise, qui doivent exercer un autocontrôle de leur activité.

Ils doivent recevoir une information sur les risques et des instructions précises auxquelles ils doivent se conformer.

Il leur est interdit de s'exposer inutilement aux radiations et de détériorer ou d'enlever les dispositifs de protection.

Ils doivent signaler immédiatement toute anomalie ou tout défaut aux dispositifs de protection. (art. 26 - A.R.).

6. Mission du service de Contrôle Physique.

Le service de contrôle physique est chargé de l'organisation et de la surveillance des mesures prévues par la réglementation en vue d'assurer la sécurité du personnel et du voisinage, en matière de radiations ionisantes. Sa mission complète celle du médecin du travail chargé de la tutelle médicale des travailleurs exposés.

Cette mission comporte une évaluation des risques d'irradiation externe ou interne à chaque poste de travail et en tout point du voisinage et cela pour toutes les conditions normales ou accidentelles du travail.

Il compare les doses calculées aux normes et détermine, si nécessaire, les moyens de protection complémentaires pour ramener les doses à des niveaux acceptables.

En fonction du risque pour le personnel, il délimite les zones contrôlées et établit une classification du personnel.

Il examine et approuve les projets d'installations et en effectue la réception.

Il examine et approuve les expériences, essais, traitements et manipulation qui pourraient présenter un danger, ainsi que les projets de transports interne ou externe à l'établissement.

Il assure la surveillance de l'emballage, du chargement et du déchargement à l'intérieur de l'établissement des matières radioactives. Il vérifie que les dispositions réglementaires concernant le transport sont respectées.

L'expert du contrôle physique effectue les mesures d'intensité de rayonnement, de contamination et la détermination des doses individuelles et cumulées.

L'expert étudie les mesures nécessaires pour prévenir tout incident, accident, perte ou vol de substances radioactives.

7. Délimitation des zones - Classification du personnel.

La réglementation définit la zone contrôlée comme l'espace où une source de radiations ionisantes est susceptible de délivrer une dose individuelle supérieure à 1,5 rem par an.

La zone surveillée est tout lieu de l'espace à la périphérie d'une zone contrôlée ou existe un danger permanent de dépasser la dose maximum admissible pour la population dans son ensemble $\approx 0,15$ rem/an. Les travailleurs régulièrement occupés dans une zone contrôlée sont considérés comme professionnellement exposés de catégorie A. Les autres personnes et travailleurs susceptibles d'être exposés pendant leur travail à des doses d'irradiation supérieures à celles qui sont admises pour la population avoisinante (0,5 rem/an) sont considérés comme professionnellement exposés de catégorie B.

Toute personne pénétrant dans une zone contrôlée doit être pourvue d'un équipement de protection, notamment des vêtements de travail appropriés, qu'il doit quitter à la sortie.

Toute personne professionnellement exposée de catégorie A porte un dosimètre à hauteur de poitrine.

Tout visiteur ou travailleur admis dans une zone contrôlée doit porter les mêmes dosimètres que les travailleurs occupés dans cette zone. La délimitation des zones contrôlées constitue une pierre angulaire de la protection. Elle est basée sur l'existence d'un risque potentiel pour le travailleur et non sur des mesures effectives effectuées par le service de contrôle physique.

Les services de l'Inspection Médicale du travail ont exprimé la crainte que les mesures ne reflètent une situation trop favorable, ne tenant pas compte des erreurs ou négligence du personnel, des incidents, de l'habitude du risque, etc.

Ces services ont donc établi une liste d'installations qui doivent être considérées à priori comme zone contrôlée et de travailleurs qui doivent être considérés d'office comme personnel professionnellement exposé de catégorie A.

C'est le cas de toutes les personnes qui sont occupées à des travaux ou appelées à pénétrer dans les locaux ou sont mises en oeuvre des substances radioactives, des appareils de gammathérapie, des générateurs à rayons X en fonctionnement, etc.

Une décision similaire a été prise pour les assistantes en dentisterie même si celles-ci quittent en principe le cabinet dentaire au moment de la prise de cliché.

8. Mesure de rayonnements.

La mesure de l'intensité des rayonnements, la détermination des contaminations radioactives et leur identification est une des tâches essentielle du contrôle physique. Ces mesures permettent d'apprécier la bonne concordance ou les écarts éventuels avec l'évaluation théorique du risque.

Elles nécessitent la mise en oeuvre de techniques de mesures variées au moyen d'appareils capables de mesurer avec une sensibilité suffisante les différents types de rayonnement et de contamination :

- rayonnement gamma, X, X de faible énergie (mammographie)
- émetteurs bêta - gamma ; bêta de faible (C 14) ou très faible énergie (tritium)
- émetteurs gamma de faible énergie (I 125).

Il est bien évidemment indispensable de disposer des moyens d'étalonnage de ces appareils : source de rayonnement standard , appareils d'étalonnage secondaire.

Dans le cas de manipulation de sources ouvertes, la disposition dans le service d'un petit compteur s'impose pour la surveillance journalière du risque. La mesure régulière de la contamination par les utilisateurs eux-même est trop souvent négligée.

9. Dosimétrie individuelle.

La détermination des doses individuelles est faite au moyen d'un dosimètre, généralement du type film ou thermoluminescent.

Le dosimètre à chambre d'ionisation ne répond généralement pas aux critères d'un service de dosimétrie légal. Il doit être réservé à la surveillance ponctuelle des travailleurs.

Le dosimètre de base doit être d'un type agréé. Il doit être sensible au spectre de rayonnement auquel le personnel est exposé et avoir une dynamique suffisante.

Le dosimètre est généralement sensible à des très faibles doses (seuil inférieur à 10 mrem), soit bien inférieures au seuil de sensibilité requis par les exigences de la radioprotection.

Dans le domaine des faibles doses (en dessous de 50 mrem) le dosimètre est inévitablement imprécis et sensible à des phénomènes parasites. Il est donc illusoire, comme le personnel a souvent tendance à le faire, d'analyser, de comparer ces résultats et d'en tirer des conclusions sur le comportement des dosimètres et la qualité du service.

Le mythe du dosimètre volontairement irradié et dont le résultat ne correspond pas à l'attente, a également la vie dure.

Le dosimètre doit servir à mesurer les doses réellement reçues, il est donc interdit de le laisser traîner dans le service en dehors des heures de travail, encore moins de le soumettre à des irradiations volontaires.

La détermination des doses incombe à l'expert physique ou à l'organisme agréé chargé du contrôle physique.

Le relevé des doses doit être communiqué au médecin du travail chargé de la tutelle médicale des travailleurs exposés aux radiations ionisantes.

10. Programme de contrôle physique.

Les tâches de l'expert physique concernent toutes les étapes de la vie de l'installation :

- avant la construction des installations
- à la mise en service
- en fonctionnement normal
- en cas de modification ou d'extension
- en condition anormale ou accidentelle
- à la cessation d'activité.

10.1. Avant la construction :

Il est souhaitable que l'expert de contrôle physique soit consulté au moment de la conception d'un projet d'installation.

Au cours des discussions avec le maître d'oeuvre, le futur utilisateur et les bureaux d'étude, l'avis de l'expert peut éviter des erreurs de conception pouvant entraîner éventuellement des travaux d'aménagement coûteux et des retards de mise en service.

Un détail de conception peut faciliter ou handicaper l'exploitation par suite de contraintes techniques ou administratives, dont il n'aurait pas été tenu compte. p.ex. un blindage insuffisant imposant d'étendre la zone contrôlée ou l'emploi de moyens de protection additionnels, etc.

Le projet définitif doit être examiné et approuvé par l'expert physique.

L'intervention de l'expert est limitée au seul plan de la sécurité ; elle se démarque totalement de la mission de l'ingénieur de projet, du constructeur ou du fournisseur.

L'examen d'un projet doit prendre en considération toutes ses composantes techniques telle que :

- les bâtiments et locaux
- les équipements, appareils,
- la circulation des personnes et les mouvements des matières,
- les techniques et procédures de travail,
- la qualification du personnel et sa formation,
- les dispositifs de protection (blindage, confinement, etc.)
- l'évacuation des déchets.

L'examen doit également prendre en considération les contraintes administratives : règlements, autorisation, etc.

10.2. Mise en service - Réception.

Préalablement à la mise en service, l'expert effectue la réception de l'installation. Il s'assure de la conformité des installations avec le projet tel que décrit dans la "Demande d'autorisation" et du respect des conditions d'exploitation fixés par l'Arrêté d'Autorisation et des dispositions du Règlement Général pour la protection contre les radiations ionisantes.

Il contrôle tout particulièrement les dispositifs de sécurité, les blindages, les débits de ventilation.

Il mesure les niveaux de rayonnement autour des appareils, aux postes de travail, ainsi qu'à l'extérieur de la zone contrôlée pour chaque condition de travail.

Il vérifie l'affichage des instructions, des symboles de radiations, des plans indiquant les zones contrôlées, des règles d'accès, etc.. Il prend connaissance de l'organisation du travail : qualification des personnes, instructions et procédures de travail.

D'une manière générale, il s'assure que toutes les mesures ont été prises pour éviter les incidents, accidents, perte ou vol des substances radioactives.

En particulier, pour les établissements de classe II, la mise en service ne peut s'effectuer que si le procès-verbal de réception de l'organisme agréé est entièrement favorable et autorise formellement cette mise en marche ou en fonctionnement. Ce procès-verbal est transmis à l'Inspection Technique du Travail.

10.3. Contrôle en fonctionnement.

Après la mise en service, l'expert physique effectue des contrôles périodiques.

Il s'assure :

- que le genre de manipulations et les activités manipulées restent dans les limites autorisées
- que l'installation n'a pas subi de modification affaiblissant la sécurité
- que le personnel a reçu une information sur le risque et des instructions précises et une formation adéquate
- que les dispositions réglementaires concernant l'accès aux zones contrôlées, la signalisation du risque, les autorisations, les procédures de travail, la tenue des inventaires, soient respectées.

Il vérifie les moyens de protection tel que les blindages, les sécurités, la ventilation, etc.

Il vérifie les doses reçues par le personnel. En cas de dose anormale et lorsque le seuil d'investigation est dépassé, l'expert analyse les causes possibles et suggère les moyens propres à empêcher le renouvellement.

Il effectue le contrôle des niveaux de rayonnement et des niveaux de contamination dans l'installation.

Il surveille l'emploi correct des instruments de mesure mis à la disposition du personnel : dosimètres, moniteur de contamination, etc. et en effectue l'étalonnage.

Le fréquence des contrôles est déterminée par le niveau de risque de l'établissement.

Les observations de l'expert sont consignées dans des rapports à tenir dans l'établissement.

10.4. Modification - Extension de l'établissement.

Toute modification des installations, de la nature et des quantités de substances radioactives utilisées, des techniques de travail, doit faire l'objet d'une nouvelle procédure d'approbation au niveau de l'expert physique.

Les modifications importantes entraînent une "Demande d'extension ou de modification" au niveau de l'autorité de tutelle.

10.5. Contrôle en situation anormale.

Malgré toutes les précautions, un incident peut se produire.

Il résulte, soit d'un défaut technique, soit d'une erreur humaine, soit encore d'une succession de circonstances imprévues.

Chaque fois que survient un évènement de nature à compromettre la sécurité ou la santé des personnes, le chef de service de contrôle physique prend immédiatement toutes mesures utiles pour pallier le danger décelé.

En outre il alerte le médecin du travail :

1. En cas d'irradiation concertée.
2. En cas de dépassement des normes.
3. En cas d'accident impliquant un danger grave d'irradiation.

L'expert surveille tout particulièrement l'intervention du personnel chargé d'éliminer les conditions anormales (source perdue, obturateur bloqué, contamination, etc.) de manière à éviter toute irradiation ou contamination excessive.

Il évalue les conséquences de l'accident pour les travailleurs et communique ses résultats au médecin chargé d'établir un diagnostic et un traitement. Cette phase peut exiger une reconstitution de l'incident et des mesures dosimétriques complémentaires.

Il analyse les causes de l'incident et présente au chef d'entreprise un rapport dans lequel il recommande les mesures à

prendre pour remédier au défaut et éviter le renouvellement d'incidents semblables.

10.6. Contrôle après mise hors service :

L'arrêt de l'installation est une étape importante. Les installations doivent être soigneusement contrôlées. L'absence de contamination doit être vérifiée. Les éléments contaminés doivent être éliminés et confiés à un service spécialisé de conditionnement des déchets.

Conclusions.

Les missions du service de contrôle physique sont nombreuses et complexes.

L'expert ne pourra les mener à bien sans moyens techniques importants. Dans les situations difficiles il devra recourir à l'avis et aux moyens techniques de centres spécialisés, universitaires ou Centre Nucléaire de Mol.

Il doit jouir de la confiance des responsables des services qu'il surveille - confiance sans laquelle sa mission resterait stérile. L'action du chef de service et de ses préposés à la surveillance est un élément moteur de la sécurité.

Mais la sécurité est aussi et avant tout du ressort de chaque travailleur; le meilleur contrôle reste l'autodiscipline du personnel. Les missions de l'expert physique et du médecin de travail s'interpénètrent et se complètent.

J'espère que cet exposé aura permis de bien faire comprendre notre action et servira à renforcer la collaboration indispensable entre nos deux disciplines.

SAMENVATTING.

De fysische controle van de ioniserende stralingen steunt op de aanbevelingen van de I.C.R.P. en de wettelijke schikkingen van het Koninklijk Besluit van 28 februari 1963.

De organisatie en de opdrachten van de dienst voor fysische controle zijn ontleedt. Het artikel duidt de uitgebreidheid en de complexiteit aan van de taken der fysische controle gesteund op de voorkoming van het risico en achteraf gezien zijn controle. Het legt de nadruk op de tegengekomen moeilijkheden en leemten, vrucht van praktische ondervinding van de controles in de medische toepassingen.

ABSTRACT.

The control of the ionizing radiations is based on the recommendations of the I.C.R.P. and the legal regulations in Belgium (Royal Decree of February, 23 1963).

The organisation of the physical control and mission of the experts are described. The complexity and multiplicity of the tasks based on risk prevention and control are emphasized. The author points out the difficulties and lacks encountered, based on his experience of the radiation control in the medical field.

ZUSAMMENFASSUNG.

Die Strahlenschutzüberwachung ionisierender Strahlen beruht auf den Empfehlungen der Internationalen Kommission für Strahlenschutz (ICRP) und auf den Ausführungsbestimmungen des königlichen Erlasses vom 28. Februar 1963. Organisation und Aufgaben des Strahlenschutz Dienstes werden analysiert. Der Artikel zeigt den Umfang und die Komplexizität der Aufgaben des Strahlenschutzes auf entsprechend der Zielsetzung : Risiken Präventiv zu vermeiden und nachfolgend zu kontrollieren. Aufgrund der praktischen Erfahrungen bei diesen Kontrollen, legt der Bericht besonderes Gewicht auf vorgekommene Schwierigkeiten und Mängel.

Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming, vol. 6, n°3-4 (1981)

MEDISCH TOEZICHT VAN HET PERSONEEL DAT AAN IONISERENDE STRALINGEN BLOOTSTAAT de Thibault de Boesinghe L.

Kliniek voor Radiotherapie en Kerngeneeskunde, Akademisch Ziekenhuis,
De Pintelaan 135, 9000 Gent, België.

ABSTRACT

De arbeidsgeneesheer belast met het medisch toezicht van tewerkgestelden aan ioniserende stralingen in het ziekenhuis, zal een aantal problemen moeten oplossen. Enerzijds zal hij zich moeten vergewissen welke de gecontroleerde zones zijn en niet, hij zal moeten oordelen welke personeelsleden dienen te worden beschouwd als tewerkgesteld aan ioniserende stralingen en welke niet. Ten opzichte van de directie van het ziekenhuis en de fysieke controle zal hij bepaalde suggesties moeten naar voor brengen en de kontakten tussen deze verschillende instanties houden. Wat de dosissen betreft, deze zijn wat het ziekenhuis betreft meestal binnen de normen en aanvaardbaar. Enkele specifieke problemen worden deze, zoals zwangere vrouwen in het ziekenhuis, de lacterende, de studenten, om maar deze voorbeelden aan te halen. Er is een duidelijke tendens dat ook de perifere ziekenhuizen meer en meer aan radio-protectie gaan doen, zodat wij kunnen hopen dat in de toekomst deze ook een adequate bescherming zullen hebben voor hun personeel. In de toekomst zal het voornaamste protectieprobleem dit zijn van het contaminatiegevaar waarbij enkele richtlijnen naar de wetgever zullen gestuurd worden door een speciale commissie opgericht in de schoot van het Belgisch Genootschap voor Nucleaire Geneeskunde.

INLEIDING

De arbeidsgeneesheren, belast met medisch toezicht van werknemers blootgesteld aan ioniserende stralingen in ziekenhuizen, stellen zich dikwijls de vraag welke houding zij moeten aannemen in het kader van het verplicht medisch onderzoek jaarlijks of tweejaarlijks.

Ik zal mij beperken tot enkele specifieke problemen welke gebonden zijn aan de ziekenhuisproblematiek, daar er een vrij essentieel verschil bestaat tussen het toezicht in een dergelijk bedrijf en dit in een kerncentrale of een laboratorium voor nucleaire wetenschappen. Twee wegen kunnen overwogen worden. De eenvoudigste weg voor de arbeidsgeneesheer zou de volgende kunnen zijn : in het bezit zijnde van de bestralingstabellen die hem overhandigd worden ter ondertekening, deze nauwlettend nagekeken hebbend op eventuele wekelijkse of 14-daagse overbestraling, eventueel zich ook vergewisd hebbende dat de betrokken diensten een getuigenschrift hebben van het erkend organisme dat hun installatie beantwoordt aan de norm voor het jaar waarin de tabel moet ondertekend worden, zou dan de arts zich kunnen vergenoegen van een goed uitgevoerd klinisch onderzoek en een bloedonderzoek met de gevraagde elementen zoals deze in de wet zijn voorgeschreven.

Mijn ervaringen zijn echter dat dit niet voldoende is en zelfs te summier, van daar de tweede weg. De arbeidsgeneesheer, belast met het toezicht in het ziekenhuis, zal dit bedrijf goed moeten kennen.

Enkele essentiële verschilpunten tussen ziekenhuizen enerzijds en bedrijven voor nucleaire wetenschappen anderzijds zijn de volgende: daar waar in kerncentrales en in laboratoria voor nucleaire wetenschappen de gecontroleerde zones buitengewoon goed afgebakend zijn en duidelijk aangetekend zowel wat het stralingsrisico betreft, als het contaminatierisico, is dit in het ziekenhuis niet zo duidelijk. Heel dikwijls zal het de arbeidsgeneesheer zijn die suggesties zal moeten doen aan het controle stralingsorganisme, aan de dienst voor fysische controle, om het aantal personeelsleden dat dosimetrisch moet gevolgd worden te signaleren. Deze dosimetrische controle zal moeten filmdosimetrisch gebeuren en niet "stylo-dosimetrisch" omdat de individuele notering van de filmdosimetrie veel accurater gebeurt wanneer deze filmdosimetrisch of ook thermoluminescentisch gemeten is. We hebben een exact dokument in tegenstelling met het gebruik van de stylodosimeter waar heel dikwijls door onbevoegden dit toestelletje wordt herladen en de dosis overgeschreven wordt op een bladje papier.

In geval van contestatie of van expertise is het vrij moeilijk om een juist idee te hebben van de ontvangen dosis. Daarenboven zijn uitwisselingen van stylodosimeters veel frequenter dan uitwisselingen van thermoluminescente dosimeters of filmdosimeters. Het spreekt vanzelf dat deze uitwisselingen verboden zijn, maar in de praktijk komen ze voor. Aanvullend kan ook gezegd worden dat in het kader van een functievisie op het bedrijf dat hier het ziekenhuis is heel dikwijls de arbeidsgeneesheer ook zal oordelen of bepaalde mensen nog een extra dosimeter moeten dragen, dit kan een filmdosimeter zijn bovenop de loodschoort, dit kan eventueel een vingertopdosimeter zijn.

Naast de gecontroleerde zone is een tweede moeilijkheid het feit dat voor een arts de controleuitoefening in een ziekenhuis met zich meebrengt dat het samenwerken met geneesheren soms de controles bemoeilijkt. Heel veel geneesheren hebben gebrek in hun basisonderwijs aan een inzicht in een goede radioprotectie, daarenboven zijn ze er heel dikwijls vast van overtuigd de biologische invloeden van stralingen zeer goed te kennen en menen dat de reglementatie zou overdreven zijn. De studenten zijn misschien overdonderd met cursussen maar men zou in het basisprogramma zeker moeten overwegen om een goede radioprotectie eveneens te doceren. Het moge gezegd zijn dat, vóór de tijd dat de wettelijke normen van 5 rem in 't jaar ingevoerd waren, er duidelijke necrosen ontstaan zijn op de huid van welbepaalde artsen, dat de frequentie van leucemie bij de radiologen duidelijk gestegen was, dat de levensduur bij deze artsen ook duidelijk verkort was. Men heeft een fysisch concept aanvaard dat in de huidige stand van de

wetenschap mag aanzien worden als een dosis waarbij dat het individu, blootgesteld aan een dergelijke bestraling, niet het minste risico loopt voor zijn gezondheid. Vandaar het belang dat een werknemer goed zijn dosimetrie fysisch zou volgen, indien dit binnen de norm gebeurt dan mag hij niet de minste symptomen vertonen die toegeschreven kunnen worden aan ioniserende stralingen. Niet alleen de artsen in ziekenhuizen zullen het de arbeidsgeneesheer soms eens moeilijk maken voor zijn onderzoekingen maar het administratief beheer en de nursing zijn ook niet steeds vatbaar voor het toepassen van de huidige wetgeving inzake radioprotectie. De economische crisis maakt het wel soms dramatisch in bepaalde ziekenhuizen, gezien een goede radioprotectie geld kost, blijft dit soms wel een struikelblok. Inderdaad een medisch onderzoek, tweejaarlijkse controle, filmdosimetrie zijn zaken die individueel dienen gehonoreerd te worden aan goed vastgelegde tarieven en dit kan voor vele instellingen een vrij belangrijke financiële belasting betekenen. Dit brengt dan ook met zich mee dat men nooit zeer goed weet welke personen uiteindelijk blootgesteld zijn aan ioniserende stralingen, gezien maar een deel van de tewerkgestelden wordt aangegeven als zijnde blootgesteld en dat dus maar één deel van deze mensen een filmdosimeter draagt en aan een medisch onderzoek onderworpen zijn. Het minimaliseren van het aantal blootgestelden brengt het grote gevaar mee dat in geval van één of andere opgelopen ziekte men de vraag zal stellen of deze al dan niet beroepshalve is opgekomen en indien men het geen filmdosimetrie geeft, men daar nauwelijks zal kunnen op antwoorden. Heel dikwijls is het ook vrij moeilijk om te weten in de functie van een personeelslid of dit personeelslid al dan niet in contact komt met ioniserende stralingen en het is niet ondenkbaar dat iemand behorende tot de administratie, zoals secretaresses, even goed in contact komen met de bron als verpleegsters, sociale verpleegsters, werkvrouwen, enz. Een individuele aanpak van de zaak is derhalve zeer noodzakelijk wil men maximale bescherming geven aan het personeel. Deze individuele visie is variabel van ziekenhuis tot ziekenhuis. De universitaire ziekenhuizen blijken beter gestructureerd te zijn dan de privaat ziekenhuizen maar zonder pessimistisch te zijn, mogen wij toch wijzen op de goede evolutie die er zich nu ook in de privaat ziekenhuizen aan het ontwikkelen is. De grote onderverdelingen in een ziekenhuis zijn de volgende : als gecontroleerde zones kunnen we gaan beschouwen de diensten voor radiotherapie, radiologie en nucleaire geneeskunde. Vermelden we dat de drie genoemde diensten meer en meer autonoom worden en soms op verschillende van elkaar afgelegen plaatsen in het ziekenhuis hun lokalen vinden. Sommige tracerlaboratoria zijn zelfs totaal buiten ziekenhuizen gehuisvest en er bestaan enkele tracerlaboratoria die volledig autonoom in één of andere stad werkzaam zijn en een service geven in de radioimmunologie t.o.v. verscheidene artsen die op deze diensten beroep doen.

In hospitalisatieafdelingen waar curie-applikaties gebeuren is het soms vrij onduidelijk te weten waar nu juist de gecontroleerde zone is, daar volgens de keuze van de patient soms de kamer gekozen wordt. Wel is er een duidelijk trend om in elk ziekenhuis over isoleerkamers te beschikken. Minder in het oog springend zijn de zgn. pararadiologische diensten, dit zijn deze diensten dit niet persé radiologisch zijn maar waar men toch in contact kan komen met X-stralen generatoren. Vermelden we het feit dat bepaalde internisten soms nog hun eigen radiografie doen voor maagdarmlletsels, in andere klinieken de uroloog zelf de I.V. pyelografies doet, de intensieve zorgen waar heel dikwijls een radiografie aan bed wordt genomen en een belangrijke niet te vergeten unit is deze van operatiezalen waar orthopedische reconstructies gebeuren met gebruik van een gesloten RX-televisie videosysteem. Dit brengt met zich mee dat een aantal personeelsleden blootgesteld wordt aan ioniserende stralingen; daarenboven is de bestraling van de extremiteiten van de behandelende geneesheer hier soms vrij belangrijk, daar bij de manipulaties onder scopie deze vaak in de bundel zitten. De afbakening van de gecontroleerde zone is dus een tamelijk moeilijk probleem. Men zou de vraag kunnen stellen of niet het ganze ziekenhuis als één gecontroleerde zone kan beschouwd worden. Het antwoord is neen, om de eenvoudige reden dat dit een onoverkoombaar financieel aspekt met zich meebrengt enerzijds en anderzijds dat in gevallen waar een werknemer buiten de gecontroleerde zone moet tewerkgesteld worden, zoals bijvoorbeeld in geval van zwangerschap dit niet meer mogelijk zou zijn.

De Belgische wetgeving is onverbiddeijk in het kader van de zwangerschap en eist dat zwangere vrouwen niet mogen in contact komen met ioniserende stralingen. Het verplaatsen van dergelijke werknemers kan wel wat problemen met zich meebrengen. Inderdaad het is niet ondenkbaar dat deze personeelsleden van de regen in de drop vallen en het gevaar voor de foetus blijkt soms groter te zijn wanneer dergelijke personeelsleden in contact zouden komen met een virale besmetting dan met de minimale stralingsintensiteiten waar zij normaal mee geconfronteerd worden. Wij zullen derhalve in onze wetgeving moeten streven naar een minimaal toelaatbare dosis voor deze personeelsleden, rekening houdende dat ook heel dikwijls de vrouw de eerste 2 maanden van de zwangerschap niet weet dat zij in een dergelijke toestand verkeert. Wat de dosis betreft welke de werknemers ontvangen in de verschillende diensten die wij daar opgesomd hebben kunnen wij vermelden dat de laagste dosissen meestal teruggevonden worden op de hospitalisatieafdelingen waar patienten verzorgd worden met curie-applikaties en in de diensten voor nucleaire geneeskunde. Diensten voor radiotherapie waar alleen maar X-stralen afkomstig van de kontaktradiotherapie, een bestraling kan geven

aan de werknemer, zijn ook van de laagst wat de gecumuleerde dosis betreft. Vermelden we dat de gammastraling afkomstig van de curie-applikaties een belasting betekent die met de huidige moderne after-loadingapparatuur in feite ook de dosissen binnen een zeer lage norm houden. Het zou echter onvoorzichtig zijn te gaan denken dat in diensten voor nucleaire geneeskunde en zeker in tracer laboratoria de dosissen die op de film werden geregistreerd een volledige safety geven in het kader van de bescherming. Het kan inderdaad zeer gemakkelijk zijn dat deze dosissen laag zijn, doch het contaminatiegevaar is niet ondenkbaar. Men zal vanzelfsprekend regelmatige controles moeten uitvoeren op contaminatie van de gebruikte oppervlakten, kleren en van het individu zelf. In sommige uitzonderlijke gevallen kan men het individu voor een total body controle sturen naar het Kerncentrum te MOL. Men kan nu ook de eventuele urine gaan collecteren en hierop de mogelijke contaminatie-isotopen gaan opsporen. Het zal dan belangrijk zijn te weten welke isotopen door het individu gebruikt werden. Vermelden we dat in het kader van het indijken van het contaminatiegevaar bij gebruik van radioiodo de speciale commissie voor radio-protectie van het Genootschap van Nucleaire Geneeskunde enkele richtlijnen heeft naar voor gebracht die binnenkort zullen verschijnen. Voor wat de tracer laboratoria betreft dient er nog op gelet door de arbeidsgeneesheer dat heel veel van de werknemers hepatitisklachten kunnen ontwikkelen en dat uit ervaring gebleken is dat deze mensen gemakkelijk een hepatitis doen bij de manipulatie van de verschillende stalen. Vandaar dat bij het in dienst nemen van dergelijke werknemers de zekerheid moet bestaan of zij al dan niet reeds hepatitis hebben doorgemaakt. In de paradiologische diensten blijkt de dosis die het personeel ontvangt, hoewel binnen de norm, soms iets hoger te liggen dan in andere diensten. De hoofdreden hiervan is dat men soms te doen heeft met minder geschoold personeel. Hoe dikwijls gebeurt het niet dat één of andere bediende een RX-thorax aan bed moet nemen. Het gebeurt ook wel eens dat bepaalde verpleegkundige manipulaties worden toevertrouwd aan mensen die hiervoor niet de vereiste diploma's hebben. Een onvoorzichtigheid van hunnentwege kan dan met zich meebrengen dat zij een iets hogere dosis cumuleren. In het kader van de contacten arbeidsgeneesheer-arts, arbeidsgeneesheer-directie zullen ook enkele vragen rijzen. Het probleem van de zwangere vrouwen is voor een ziekenhuis soms vrij moeilijk oplosbaar. Het personeelslid moet dan verplaatst worden naar een zone waar het gevaar voor ioniserende stralingen niet bestaat. Het spreekt vanzelf dat ook in de lactatieperiode de vrouw niet in contact mag komen met ioniserende stralingen en een eventuele contaminatie door een radioisotoop kan als gevolg hebben dat de zuigeling bepaalde tracers ingesteeert die niet voor hem bedoeld waren. Iets moeilijker is het feit dat in veel ziekenhuizen studenten tewerkgesteld worden of stage lopen. De wet zegt dat men niet mag werken met bronnen van ioniserende stralingen onder de 18

jaar, men moet tevens werknemer zijn. Tot hiertoe worden de studenten niet beschouwd als werknemers zodat wij met 2 fenomenen kunnen geconfronteerd worden : 18 jaar niet bereikt hebben en zeker niet gecontroleerd worden door een arbeidsgeneesheer van het ziekenhuis of door een arbeidsgeneesheer belast met controle op ioniserende stralingen. De geneesheer belast met het medisch schooltoezicht is nog niet ingeburgerd in radioprotectieproblemen. Daarenboven zijn de verblijfsperiodes van deze studenten soms maar van zeer korte duur, 1 of 2 maanden en wordt de registratie van de dosis een vrij complexe situatie, voor zover ze bestaat. Aan de andere kant is onze jeugd in continue evolutie en het is dus niet ondenkbaar dat een studentin-verpleegkunde reeds gehuwd is en zwanger rondloopt in een dienst waar men haar radiografische demonstraties toont of in een isotopenafdeling waar zij kan gecontamineerd worden of tenslotte een curieapplicatie laat bijwonen aangevuld door enkele localisatie-scopies. Men kan dan de vraag stellen : "Wat zijn de risico's voor de foetus ?", gezien niet de minste dosimetrie bij deze vrouw gebeurd is, zal het antwoord zijn : "afachten tot aan de geboorte", houding die ten stelligste zou kunnen vermeden worden moesten de studenten, zoals de beroepshalve blootgestelde, dosimetrisch worden gevolgd. Hier zou eventueel, gezien de korte tijdsspanne dat sommige van de studenten in contact komen met ioniserende stralingen, gedacht worden aan een stylodosimetrische controle. De mogelijkheid van vingertopdosimeters bij mensen die manipulaties moeten doen in dergelijke omstandigheden dat de vingertoppen zeer dicht in contact komen met de bron moet in acht genomen worden bij deze, die isotopen moeten inspuiten, radiumnaalden moeten prepareren, Iridiumdraden in tumoren moeten plaatsen en elk individueel geval zal samen met de respectievelijke diensten voor fysische controle dienen te worden besproken. Bij zijn onderzoekingen zal de arbeidsgeneesheer soms met enkele gewetensconflicten te kampen hebben. Zo bv. kan de vraag gesteld worden of iemand die een kapmantelveld kreeg voor de ziekte van Hodgkin of een omgekeerd γ -veld tevens ook een onderhoudschemotherapie krijgt maar voor de rest in goede klinische algemene toestand verkeert met een bloedbeeld dat uiteindelijk binnen de norm valt, mag verder in contact komen met ioniserende stralingen, bv. tewerkgesteld zijn in een dienst voor radiologie of voor radiotherapie ? Mag deze zelfde persoon tewerkgesteld worden in een hospitalisatieafdeling waar patiënten verzorgd worden met curieapplicatie ? Een ander voorbeeld kan het volgende zijn : iemand behandeld voor een leukemie maar volledig in remissie, mag die werkzaam zijn in een radiologische dienst ? Men kan zich ook de vraag stellen of een verpleger die lijdt aan epilepsie mag tewerkgesteld worden met bronnen van ioniserende stralingen. De arbeidsgeneesheer is gebonden aan een beroepsgeheim zoals de andere genees-

heren maar zit met de moeilijkheid dat hij ten opzichte van de werkgever heel dikwijls een motivatie moet geven waarom hij iemand arbeidsongeschikt verklaart; dit zal in de praktijk heel veel moeilijkheden doen rijzen om enerzijds het medisch geheim te respecteren en anderzijds te zorgen dat de werknemer voldoende beschermd is. Daarenboven, indien men het vertrouwen van zijn personeel dat men onderzoekt wil blijven bewaren, zal men moeten rekening houden dat een soms té streng optreden door een interpretatie te geven aan een wetgeving die, hoewel streng van toepassing, toch mogelijkheden biedt om tussenoplossingen te vinden, zal aanleiding kunnen geven tot het brooddroven van een aantal individuen; dit zal ook in de huidige crisisperiode moeten vermeden worden. Elk geval zal dus sterk individueel bekeken worden. De arts geconfronteerd met de protectie in ziekenhuizen mag er zich eventueel aan verwachten geroepen te worden bij gevallen van technische incidenten, dit kunnen zijn een contaminatie door radioisotopen, waarbij bv. iemand zijn handen of zijn gelaat besmet heeft en waar de vraag gesteld wordt 'wat moet er gebeuren?'. Hoewel heel wat decontaminantia theoretisch voorhanden zijn, zal het uiteindelijk water en zeep zijn die de beste oplossing zullen bieden. Bij deze contaminatie zal men er moeten op letten dat men een kleine contaminatie niet gaat generaliseren door een stortbad, waarbij de dilutie weliswaar optreedt, maar het isotoop over heel het lichaam wordt verspreid. Bij autopsies waarbij patienten behandeld werden met radioactieve stof zal heel dikwijls de vraag rijzen of deze kan gebeuren of niet en indien ze kan gebeuren, in welke conditie.

Het zou voor de arbeidsgeneesheer belangrijk zijn dat hij tijdens zijn scholing enkele tabelletjes opstelt in functie van de toegediende tracers om hier richtlijnen te geven aan de anatomopatholoog, eventueel kan hij beroep doen op het controle stralingsorganisme of op de respectievelijke arbeidsgeneeskundige diensten van de universiteiten die hiervoor de bevoegde informatie hebben. Tot besluit kan men zeggen dat het medisch toezicht op personen blootgesteld aan ioniserende stralingen in het ziekenhuis een toezicht is, waarbij het klinisch onderzoek niet zo zeer ietsels zal aan het licht brengen die kunnen te wijten zijn aan ioniserende stralingen, maar dat eventueel tijdens dit onderzoek andere pathologieën kunnen aan het licht worden gebracht. Veel belangrijker zal het zijn dat de werknemers een goede dosimetrie voor ogen houden en dat de problemen, daar waar er geschillen zijn, zo collegiaal mogelijk opgelost worden.

REFERENTIES :

- (1) ICRP report of committee V on the handling and disposal of radioactive materials in hospitals and medical research establishments. (1965) Pergamon Press, Oxford.
- (2) DE THIBAUT DE BOESINGHE, L., Bronnen van ioniserende stralingen in het ziekenhuis. Licentiaatsthesis.

RESUME.

Le médecin du travail chargé du contrôle médical des personnes exposées professionnellement aux radiations ionisantes dans les cliniques aura certains problèmes spécifiques à résoudre. Il devra d'une part définir les zones comme zones contrôlées ou non. De plus, en fonction de la répartition de ces zones il devra juger si les personnes occupées sont ou non exposées professionnellement aux radiations ionisantes. Le médecin du travail devra faire des suggestions utiles à la direction de la clinique et au service de contrôle physique. Dans l'ensemble les doses reçues sont acceptables et restent en-dessous des normes. Il faut toutefois tenir compte des problèmes spécifiques posés par les femmes enceintes, les femmes en période de lactation et les jeunes étudiants. Les cliniques périphériques non universitaires semblent actuellement attacher plus d'importance qu'avant à la radioprotection. Il est à espérer que dans le futur elles atteindront en ce domaine le niveau des hôpitaux universitaires. Le problème de protection le plus important pour les années à venir est celui de la contamination interne. Une commission spéciale émanant de la Société belge de Médecine nucléaire enverra quelques directives à ce sujet au législateur.

ABSTRACT.

The industrial health physician in charge with the control of people exposed to ionizing radiations in the clinic has to answer some problems among which the distinction between areas which are to be controlled or not. He also has to distinguish between people which are to be considered as exposed to ionizing radiations and which are not. The industrial health physician has to make suggestions to the direction of the clinic and to the department of health physics. The radiation doses received by the professionally exposed people in the clinic remain mostly below an acceptable level. Some specific problems arise from the presence of pregnant women, women in lactation period and young students. Radioprotection is making progress in peripheric non-university clinics and we may hope that they will after some years attain the level of the university clinics. The main problem for the coming years seems to be the danger of internal contamination. A special commission created by the Belgian Nuclear Society will send some suggestions about this to the lawyer.

ZUSAMMENFASSUNG.

Der Arbeitsmediziner, der mit der medizinischen Überwachung von Krankenhauspersonal beauftragt ist, das ionisierenden Strahlen ausgesetzt ist, muß sich mit verschiedenen Problemen beschäftigen, Einerseits muß er sich vergewissern welche Bereiche als kontrollierte Zonen anzusehen sind und er muß auch beurteilen welche Mitarbeiter als ionisierenden Strahlen ausgesetzt anzusehen sind und welche nicht. Gegenüber der Direktion des Krankenhauses und dem Strahlenschutz muß er bestimmte Vorschläge für die Arbeitsweise machen und engen Kontakt mit den verschiedenen Instanzen halten. Die Strahlendosen für Krankenhauspersonal liegen meist innerhalb der zugelassenen Normen.

Um nur einige spezifische Probleme zu nennen, wird auf die Fälle von schwangeren und stillenden Frauen sowie Studenten verwiesen, die im Krankenhaus beschäftigt sind. Es besteht eine deutliche Tendenz auch periphere Krankenhäuser mehr und mehr einem verstärkten Strahlenschutz zu unterwerfen, sodaß zu hoffen ist, daß in Zukunft auch dort adäquater Schutz für das Personal bestehen wird. In Zukunft wird das Hauptschutzproblem in der Vermeidung von Kontaminationsgefahren liegen; in diesem Zusammenhang werden dem Gesetzgeber einige Richtlinien von einer speziellen Kommission zugeleitet werden, die im Rahmen der Belgischen Gesellschaft für Nuklearmedizin gegründet wurde.