

**Annalen
van
de Belgische Vereniging
voor
Stralingsbescherming**

VOL. 2. N° 1

1977

Driemaandelijkse
uitgave

Publication
trimestrielle

**Annales
de
l'Association Belge
de
Radioprotection**

Hoofdredacteur

Prof. Dr. O. SEGAERT

Rédacteur en Chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. STIEVENART

Secrétaire de Rédaction

Juliette Wytsmanstraat 14

14 rue Juliette Wytsman

1050

BRUSSEL

1050

BRUXELLES

INHOUD

SOMMAIRE

Voorwoord	5
Préface	6
R. GILLET :	
Doses d'irradiation de la population dues à l'utilisation des rayonnements ionisants en diagnostic.	7
N.G. TROTT :	
Dose to the patient due to medical diagnostic use of unsealed radioactive substances.	11
P. BERNADAC :	
<i>La dosimétrie en radiodiagnostic - le risque radique.</i>	39
J. DELHOVE :	
La protection du patient dans le diagnostic par rayons X	41
P. SCHONKEN, G. MARCHAL, Y. COENEN, A.L. BAERT :	
Dosimetrie bij computer tomografie van de romp.	49
J. GARSOU, M. COLLARD :	
A propos d'un critère de comparaison de l'irradiation du crâne examiné en tomographie axiale transverse computerisée (EMI SCANNER) et par techniques conventionnelles.	51
S. KLEINER, F. HOTTON, P. VAN ELEGEM :	
Les problèmes de radioprotection lors des examens radiologiques des rochers.	57
M. CUKIERFAJN, P. VAN ELEGEM :	
Etude dosimétrique comparative de 4 systèmes mammographiques.	63

VOORWOORD

De nummers 1 en 2 van Volume 2 bevatten de mededelingen opgenomen in het programma van de gemeenschappelijke vergadering van de Koninklijke Belgische Vereniging voor Radiologie, van het Belgisch Genootschap voor Kerngeneeskunde en van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming op zaterdag, 19 maart 1977 op de Campus van de Université Catholique de Louvain te Woluwe.

De vergadering was gewijd aan het thema : " De stralenbelasting van de patiënten tijdens onderzoeken met röntgenstralen en radioisotopen ". De mededelingen tijdens de voormiddagzitting onder het voorzitterschap van de heren Ch. DOCHEZ en A. OSIPENCO zijn gepubliceerd in Volume 2, nr. 1 van de Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming. De mededelingen van de namiddagzitting, waarvan het eerste deel onder het voorzitterschap van de heren A.M. ERMANS en O. SEGAERT, het tweede deel onder voorzitterschap van de heren P. BODART en M. DE ROO, zijn gepubliceerd in Volume 2, nr. 2.

Bij gebrek aan de uitvoerige tekst werden de bijdragen geleverd door de heren P. BERNADAC (Nancy), P. SCHONKEN, G. MARCHAL, Y. COENEN, A.L. BAERT (K.U.L.) en van A. GYSELEN en P. SCHONKEN (K.U.L.) in de vorm van een samenvatting gepubliceerd.

De mededeling van de heer W. FEREMANS werd insgelijks in beknopte vorm opgenomen. Deze bijdrage is eerder gepubliceerd in het Belgisch Tijdschrift voor Radiologie.

O. SEGAERT.

PREFACE

Les numéros 1 et 2 du Volume 2 présentent les communications du programme de la réunion commune de la Société Royale Belge de Radiologie, de la Société Belge de Médecine Nucléaire et de l'Association Belge de Radioprotection du samedi 19 mars 1977 au Campus de l'Université Catholique de Louvain à Woluwe.

La réunion avait comme thème : " L'Irradiation des patients durant des examens par rayons X ou par radio-isotopes".

Les communications de la séance du matin sous la Présidence de Mr. Ch. DOCHEZ et Mr. A. OSIPENCO ont été publiées dans le Volume 2 numéro 1 des Annales de l'Association Belge de Radioprotection.

Les communications de la séance de l'après-midi dont la première partie sous la Présidence de Mr. A. ERMANS et Mr. O. SEGAERT et la deuxième partie sous la Présidence de Mr. P. BODART et Mr. M. DE ROO ont été publiées dans le Volume 2 numéro 2.

N'ayant pas reçu le texte intégral des contributions de Mr. P. BERNAOAC (Nancy) et de M.M. P. SCHONKEN, G. MARCHAL, Y. COENEN, A.L. BAERT (K.U.L.) et de M.M. A. GYSELEN et P. SCHONKEN (K.U.L.) celles-ci ont été publiées sous forme de résumé.

La communication de Mr. W. FEREMANS a été incluse sous forme réduite. Cette contribution est publiée antérieurement dans le Journal Belge de Radiologie.

O. SEGAERT.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection Vol. 2 n° 1
DOSES D'IRRADIATION DE LA POPULATION DUES A L'UTILISATION DES RAYONNE-
MENTS IONISANTS EN DIAGNOSTIC MEDICAL.

GILLET R.

Université Catholique de Louvain, Laboratoire de Radioprotection .
2, Chemin du Cyclotron, 1348 Louvain-La-Neuve.

19 mars 1977.

RESUME

Quand une population dans son ensemble, ou des larges couches de celle-ci sont exposées, il est impératif de considérer alors, non seulement la valeur des doses individuelles, mais aussi celle du nombre des personnes exposées. En effet, même si l'exposition individuelle est suffisamment faible et que le risque qui en découle par individu est acceptable, la somme de ces risques, au point de vue somatique et génétique, justifie l'effort demandé pour réduire l'exposition de cette population. Une planification appropriée des programmes nucléaires et des pratiques provoquant une exposition aux radiations, exige la limitation de l'exposition des populations, par la diminution simultanée des doses individuelles et du nombre de personnes exposées. En fait, cependant, l'irradiation naturelle et l'irradiation médicale sont exclues a priori comme sources d'expositions dans le calcul des doses absorbées, alors que les expositions d'origine médicale constituent actuellement et pour le proche avenir, la source principale de l'irradiation des populations.

L'objectif de la Radioprotection est de prévenir ou de diminuer les effets somatiques des radiations ionisantes sur les individus et de préserver le potentiel génétique des populations. Il est dès lors indispensable de réduire, autant que faire se peut, les doses d'irradiations aussi bien pour la population dans son ensemble, que pour les individus.

Les individus exposés peuvent être répartis en deux catégories, à savoir : d'une part les adultes dans leur activité professionnelle et d'autre part, les individus en général.

La raison en est qu'il n'est pas désirable d'exposer des individus de la population à des doses aussi élevées que celles qui sont considérées comme acceptables pour des travailleurs professionnels; ces individus comprennent notamment les enfants, pour lesquels le risque est plus grand et qui peuvent être exposés durant une plus longue période de leur vie. De plus, le public ne choisit pas librement d'être exposé et il peut ne pas recevoir un bénéfice direct de l'exposition. Enfin, la population n'est ni sélectionnée, ni contrôlée régulièrement au point de vue médical.

Il faut cependant savoir que la fixation des limites de dose pour les individus au dixième de celle des travailleurs professionnellement exposés, n'est basée sur aucune étude quantitative communément acceptée; cette fixation est arbitraire et aucune signification biologique ne doit lui être attachée.

Quand une population dans son ensemble, ou des larges couches de celle-ci sont exposées, il est impératif de considérer alors, non seulement la valeur des doses individuelles, mais aussi celle du nombre des personnes exposées. En effet, même si l'exposition individuelle est suffisamment faible et que le risque qui en découle par individu est acceptable, la somme de ces risques, au point de vue et somatique et génétique, justifie l'effort demandé pour réduire l'exposition de cette population.

Une planification appropriée de toute pratique provoquant une exposition aux radiations, exige donc la limitation de l'exposition des populations par la diminution simultanée des doses individuelles et du nombre de personnes exposées.

En admettant l'hypothèse de base que l'intensité du dommage subi est directement proportionnel à la dose accumulée, toutes les sources d'irradiation doivent être prises en considération dans l'évaluation du dommage biologique et dans la fixation des limites de dose.

En fait cependant, deux sortes d'expositions sont exclues a priori dans le calcul des doses absorbées, à savoir : l'irradiation naturelle et l'irradiation médicale, alors que ces deux sources constituent actuellement et dans nos régions, les causes principales de l'irradiation des populations. Quelles en sont les raisons ?

- l' irradiation naturelle est variable d'une région à l'autre et de plus la distribution de la dose aux différents organes des individus est encore mal connue,
- pour l'irradiation d'origine médicale, les doses absorbées dans les différents organes ainsi que la contribution de celles-ci dans la dose absorbée totale, sont difficiles à évaluer et sont variables d'un individu à un autre.

L'inclusion de ces paramètres dans les limites de doses aboutirait à un niveau de limite des sources artificielles de radiations, qui sont les seules contrôlables, différent d'une région à l'autre et même d'un individu à l'autre, ce qui n'est pas praticable.

La pratique médicale englobant la totalité de la population, le risque

génétiq ue est le plus important et la dose génétiquement significative (D.G.S.) doit être évaluée avec le plus de précision possible.

Si on considère par exemple les examens radiologiques, on peut estimer que cette D.G.S. se situe dans nos pays à un maximum de 60 mRem et il est unanimement admis qu'un facteur de réduction probablement supérieur à 10 pourrait être atteint sans nuire à la valeur du diagnostic.

Ces deux paramètres, irradiation faible et diagnostic valable, doivent être d'égale importance et en bonne technique radiologique, sont indissociables.

Il est essentiel de dire ici clairement que le bénéfice retiré par la population des examens médicaux est important et que, de plus, le progrès des techniques apportera, certainement, un plus grand avantage que le dommage éventuellement causé par l'augmentation de l'irradiation.

Cependant, la multiplication d'actes médicaux inutiles doit être proscrite; il devrait donc y avoir toujours des indications cliniques claires et précises avant que tout examen irradiant ne soit entrepris.

Malheureusement, de nombreux examens ne sont pas conformes à cette prescription essentielle, ainsi par exemple :

- l'organisation d'examens systématiques d'embauche, d'assurance et même d'admission hospitalière,
- la programmation régulière du nombre maximum des clichés autorisé par l'INAMI pour chaque type d'examen, alors que bien souvent la moitié de celui-ci ne contribue en rien au diagnostic,
- le contrôle purement administratif d'actes médicaux ainsi par exemple l'obturation des cavités dentaires n'est pas remboursée par l'INAMI si les clichés radiographiques pré et post intervention ne sont pas joints.

A la vue de ces considérations et en conclusion, on doit souhaiter un retour au principe fondamental de l'irradiation minimum des populations par un diagnostic médical de valeur, si on veut qu'avec les nouvelles applications industrielles nucléaires prévues, les générations qui nous suivent ne nous fassent aucun reproche.

SAMENVATTING

Wanneer een gehele bevolking of een belangrijke bevolkingsgroep aan straling blootgesteld is, is het noodzakelijk niet alleen de individueel ontvangen stralingsdosis te kennen, maar ook het aantal personen dat bestraald is geweest.

Inderdaad, ook al is de individueel ontvangen stralingsdosis vrij zwak, in die mate dat het individueel risico dat eruit voortvloeit aanneembaar klein is, toch is het globale risico vanuit somatisch en genetisch oogpunt van die aard dat het de gewenste inspanning rechtvaardigt om die bevolking minder aan straling bloot te stellen.

Een geschikte planning op het vlak van de nucleaire programma's en op het vlak van elke praktijk, welke gepaard gaat met het blootstellen aan straling, vereist daarom de beperking van het blootstellen van de bevolking, meer bepaald van de individuele dosis evenals van het aantal blootgestelde personen.

Nochtans zijn de natuurlijke en medische bestraling a priori uitgesloten uit de berekening van de geabsorbeerde dosis, daar waar bestraling om medische doeleinden op dit ogenblik en in de nabije toekomst evenwel de belangrijkste bron van bestraling van de bevolking uitmaakt.

RESUME

Quand une population dans son ensemble, ou des larges couches de celle-ci sont exposées, il est impératif de considérer alors, non seulement la valeur des doses individuelles, mais aussi celle du nombre des personnes exposées. En effet, même si l'exposition individuelle est suffisamment faible et que le risque qui en découle par individu est acceptable, la somme de ces risques, au point de vue somatique et génétique, justifie l'effort demandé pour réduire l'exposition de cette population. Une planification appropriée des programmes nucléaires et des pratiques provoquant une exposition aux radiations, exige la limitation de l'exposition des populations, par la diminution simultanée des doses individuelles et du nombre de personnes exposées. En fait, cependant, l'irradiation naturelle et l'irradiation médicale sont exclues a priori comme sources d'expositions dans le calcul des doses absorbées, alors que les expositions d'origine médicale constituent actuellement et pour le proche avenir, la source principale de l'irradiation des populations.

SUMMARY

When an entire population or a large number of individuals is exposed to radiation, it is imperative to consider not only the magnitude of individual doses, but also the number of exposed individuals.

In fact, even if the individual dosis is sufficiently small, and even if the resulting individual risk is acceptable, the entire risk from the somatic or genetic point of view justifies the effort to reduce the exposure of that population to radiation.

An appropriate planning of nuclear programs and of all practices, involving exposure to radiation, necessitates limitation of exposure of populations, simultaneously by reducing the individual dosis and the number of persons exposed to radiation.

Although natural and medical irradiation are excluded from the calculus of absorbed doses, the exposure of medical origin constitute at present and in the near future the principal source of irradiation to populations.

Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming Vol. 2 nr.1

DOSE TO THE PATIENT DUE TO MEDICAL DIAGNOSTIC USE OF RADIONUCLIDES.

N.G. TROTT.

Physics Department, Institute of Cancer Research, Royal Marsden Hospital,
Sutton, Surrey, England.

RESUME

It is now almost 30 years since the first detailed studies were made of the dosimetry of internally administered radionuclides. With the rapid expansion over the past 10 years of the clinical applications of radionuclides the subject has become of increasing importance and this is recognised in the attention given to the subject in a recent EEC Directive. Considerable effort has been made by ICRP, ICRU and other groups, in particular the Medical Internal Radiation Dose Committee (MIRD) of the US Society of Nuclear Medicine, to develop comprehensive methods of evaluating the absorbed dose to organs of the body for a given model of the distribution of activity in a patient.

However, considerable difficulties have been experienced in acquiring representative data on the distribution in human subjects of individual radiopharmaceuticals.

An outline is given of the techniques used in deriving the absorbed dose for a given distribution of radionuclide in man. Methods used in acquiring biological and clinical data are described and the problems of extrapolating data on animals to man are discussed. Examples of absorbed dose calculations are given and extracts from complete studies of the dosimetry of selected radiopharmaceuticals presented. Some comparisons between doses delivered by X-ray investigations and radiopharmaceutical procedures are shown.

1. Introduction - the general problem

As we all know, general concern over the dose received by patients in X-ray diagnostic procedures only arose comparatively recently, in the mid 1950's (Osborn and Smith, 1956, (1) (Adrian Report, 1957, 1960, 1966) (2) although by then problems of radioisotope dosimetry were already being quite thoroughly explored, notably by Marinelli, Quimby and Hine (1948) Mayneord (1950), Mayneord and Sinclair (1953), Loevinger, Holt and Hine (1956) (3) (4) (5) (6).

Already, therefore, users were concerned over dose to the patient and investigations of this topic developed in parallel with work on the radiation dose to members of the general public that could arise from nuclear

power installations, as well as fall out from nuclear weapon tests (7). The proliferation of work on radioisotope dosimetry from 1948 onwards, to an extent which perhaps initially exceeded that on the dosimetry of X-rays used in diagnosis, may reflect the fact that participation of physicists in nuclear medicine was, at least for a number of years, closer than with X-ray diagnostic radiology. Valuable publications during this period were the works of Morgan, Snyder and Ford (1955), Slack and Way (1959) and Vennart and Minski (1960) (8) (9) (10). Vennart and Minski's report on "Radiation dose from administered radionuclides" was produced at the suggestion of a panel drafting the revised Ministry of Health "Code of Practice" (HMSO 1964) (11) for reference in a section on protection of the patient.

Subsequently, however, the difficulties of the subject became increasingly evident; many new radiopharmaceuticals were being introduced and, with the emergence of $^{99}\text{Tc}^m$ in 1964 (Harper et al, 1964) (12) and other primarily γ or X-ray emitting radionuclides, it became clear that a period of extensive study and acquisition of data on both the physical and biological sides lay ahead.

Imaging procedures in clinical nuclear medicine have, of course, been completely transformed, by the introduction of $^{99}\text{Tc}^m$, ten fold and more increases in the number of patients investigated with radionuclides at individual hospitals have resulted, and many more hospitals have entered the field. At the same time numerous other radionuclides and associated radiopharmaceuticals continue to come into use.

Workers in Sweden as reported in 1969 in a WHO document (13) have taken a leading part in considering the genetically significant dose contributed by nuclear medicine. In this WHO report a genetically significant dose in Sweden for nuclear medicine was estimated to be 0.4 mrad/year, which was compared with an estimated figure for the United Kingdom in 1957 of 0.03 mrad/year, (Adrian Report, Table V, P 13, 1960). The authors thought that this probably reflected a genuine increase in exposure which should be kept under review, although the dose was still small by comparison with the contribution by diagnostic X-rays. Roedler et al (1974) (14) have discussed this matter in some detail, suggesting ways in which the genetically significant dose from nuclear medicine procedures could be reduced although noting that it still represents a very small fraction of the total dose arising from medical applications of ionizing radiation.

The Directive of the Council of the European Communities of July, 1976, (Euratom, 1976) (15) while concerned primarily with radiation protection to workers, does in Article 12 (8) require that " the contribution to the genetic dose from medical examination and treatment is kept to the minimum value consistent with medical requirements " and also (Article 5) " irrespective of the degree of danger involved, a system of prior authorization must be applied to (a) the administration of radioactive substances to persons for purposes of diagnosis, treatment or research ". The recent Royal Commission on Environmental Pollution 1976 (p. 89) (16) notes, incidentally, that Euratom, unlike all other international bodies involved in radiation protection, does have powers to set and enforce " basic radiation standards for the protection of the health of workers and the general public ", (article 33 cited in the preamble to the 1976 directive). With the enthusiasm of the physicists for dosimetry and the spur of the anxiety of the general public over radioactivity (reflected in the efforts of our parliaments and governments to protect us from the enthusiasms of some doctors for new methods of diagnosis) we now have a considerable literature on the methods of radioisotope dosimetry and a significantly less considerable literature giving consistent estimates of the radiation dose arising from the use of radiopharmaceuticals.

2. Methods of evaluating absorbed dose to patients.

The evaluation of the absorbed dose resulting from the internal administration of radionuclides has two distinct components - physical and biological, and the procedures now widely used are summarized briefly below.

2.1 Physical Data

The unified approach now widely adopted, derives chiefly from the work of Loevinger and Berman (1968) (17). The principles are set down in Table I. The simple expression shown can be applied in the most general way to all types and energies of radiation. The quantity Δ (which is a measure of the energy emitted per nuclear transformation) was called the equilibrium dose constant by the original authors : the term arose from the fact that when all the energy emitted is absorbed in a medium, the integral dose to that medium is equal to the total energy emitted.

Table I

The average absorbed dose in a target organ r_2 received from radioactive material in a source organ r_1 is given by

$$\bar{D} (r_2 \leftarrow r_1) = \frac{\Delta_i \tilde{A} Q_i}{m} \quad \begin{array}{l} \text{rad; gray (Gy)} \\ \text{or J/kg} \end{array}$$

where

Δ_i = energy emitted as radiation of type i per nuclear transformation.

\tilde{A} = time integral of the activity in the source ($\mu\text{Ci h}$; Bq.s.)

Q_i = fraction of energy emitted by the source as radiation of the i type which is absorbed by the target. This is called the "absorbed fraction".

m = mass of target (g; kg)

The units in brackets are (in order) those in the "traditional" system and in S.I.

Note that in the traditional units $\Delta_i = 2.13 n_i E_i \text{ grad}/\mu\text{Ci h}$ where n_i is the number of particles or quanta of energy E_i emitted per nuclear transformation.

Terminology and formalism used in evaluating
absorbed dose (17).

The organ for which the dose is required - the "target" - may or may not also be the "source". A practical example of such equivalence is given by ^{90}Y a pure β -emitter, distributed in the liver. However, if one wishes to calculate the dose to the gonads from ^{131}I retained in the thyroid gland, one has to deal with physically separate source and target regions. It soon became evident that the determination of the values of the various parameters for each radionuclide under varied clinical conditions could be a mammoth task and so it has proved. The energetic Medical Internal Radiation Dose Committee (MIRD) of the Society of Nuclear Medicine set up in 1967 has so far produced 11 pamphlets (see Table II) detailing both various necessary data and methods of evaluating dose; particular interest has centered on the "absorbed fraction" Q , and on the adequate presentation of data on radionuclides. Fig. 1 illustrates some data on absorbed

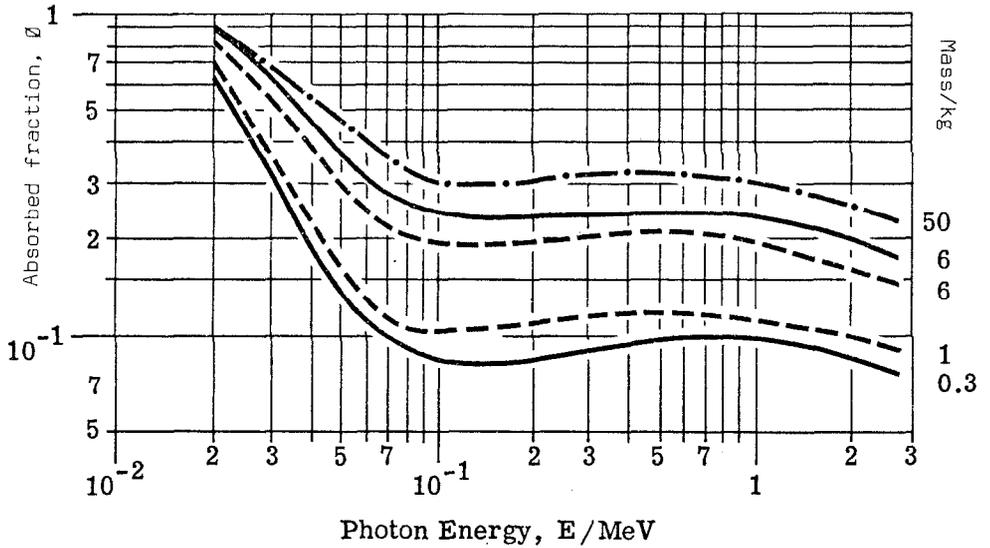


Fig. 1.

Photon absorbed fractions ϕ for a uniform distribution of activity in tissues of various shape and mass, surrounded by empty space (based on Brownell et al 1968) (18).

- · — · — · — · — ellipsoid axes 1/1.8/9.3
- small spheres and flat ellipsoids axes 1/1/1 and 1/1.5/2
- flat ellipsoids axes 1/2/4

Table II, MIRD Pamphlets
(Society of Nuclear Medicine)

1968 (1)	Loevinger & Berman	A schema for absorbed dose calculations for biologically distributed radionuclides.
1968 (2)	Berger	Energy deposition in water by photons from point isotropic sources.
1968 (3)	Brownell, Ellet & Reddy	Absorbed fractions for photon dosimetry.
1969 (4)	Dillman	Radionuclide decay schemes and nuclear parameters for use in radiation dose estimation.
1969 (5)	Snyder, Ford, Warner & Fisher	Estimates of absorbed fractions for energetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom.
(6)	Dillman	Radionuclide decay schemes and nuclear parameters for use in radiation dose estimation Part 2.
1971 (7)	Berger	Distribution of absorbed dose around point sources of electrons and beta particles in water and other media.
1971 (8)	Ellet & Humes	Absorbed fractions for small volumes containing photon emitting radioactivity.
1972 (9)	Lathrop, Johnston, Blau & Rothschild	Radiation dose to humans from Se-75 selenomethionine.
1975 (10)	Dillman & Von der Lage	Radionuclide decay schemes and nuclear parameters for use in radiation dose estimation.
1975 (11)	Snyder, Ford, Warner & Watson	"S" absorbed dose per unit cumulated activity for selected radionuclides and organs.
1976 (1 rev)	Loevinger & Berman	A revised schema for calculating the absorbed dose from biologically distributed radionuclides.

(MIRD 1968 - 1976)

fractions, for different masses and shapes of ellipsoid (18).

Data on disintegration schemes have been analysed for 122 radionuclides by Dillman and von der Lage, (1975) (19) giving values of Δ for β^- and β^+ particles, γ -rays and secondary X-rays and electrons. Snyder and colleagues (1975) (20), of Oak Ridge have evaluated for a standard man designed by their group the absorbed dose per unit time integral of activity to 20 target organs from 20 source organs for each of 117 radionuclides (including 20 metastable states).

2.2 Biological data

For all calculations of dose, one requires appropriate values of \tilde{A} , the time integral of the activity in the source organ. To determine \tilde{A} one may initially, have to use data based on measurements on animals, extrapolating (or guessing) the equivalent values for man. As occasion arises, we may secure biological data for man. At the Royal Marsden Hospital we have made use of our whole body counters and scanners with digital output in such work, but to collect the data needed has proved more difficult than originally expected. Patients do not like to return to the counting room or the hospital after the test is finished and for obvious reasons their physician may not wish to persuade them to do so. However, only by making such observations whenever practicable can a representative set of human data be built up to guide future applications.

3. Examples of dosimetry.

At the Royal Marsden Hospital, we were able for ^{67}Ga citrate (21) (22) to carry out a complete biological study before undertaking clinical work and subsequently to compare our predictions with estimates based on measurements on patients. Some typical results for ^{67}Ga are shown in Table III and Fig. 2. In vivo counting was accompanied so far as practicable by measurements of the activity in blood samples and in tissue specimens obtained at some operations. A survey of our work on the dosimetry of radio-pharmaceuticals over a period of years was presented at the Bad Gastein Symposium in 1974 (23) and in the paper we discussed, in particular, the problem of adopting a systematic procedure in extrapolating data on animals to man.

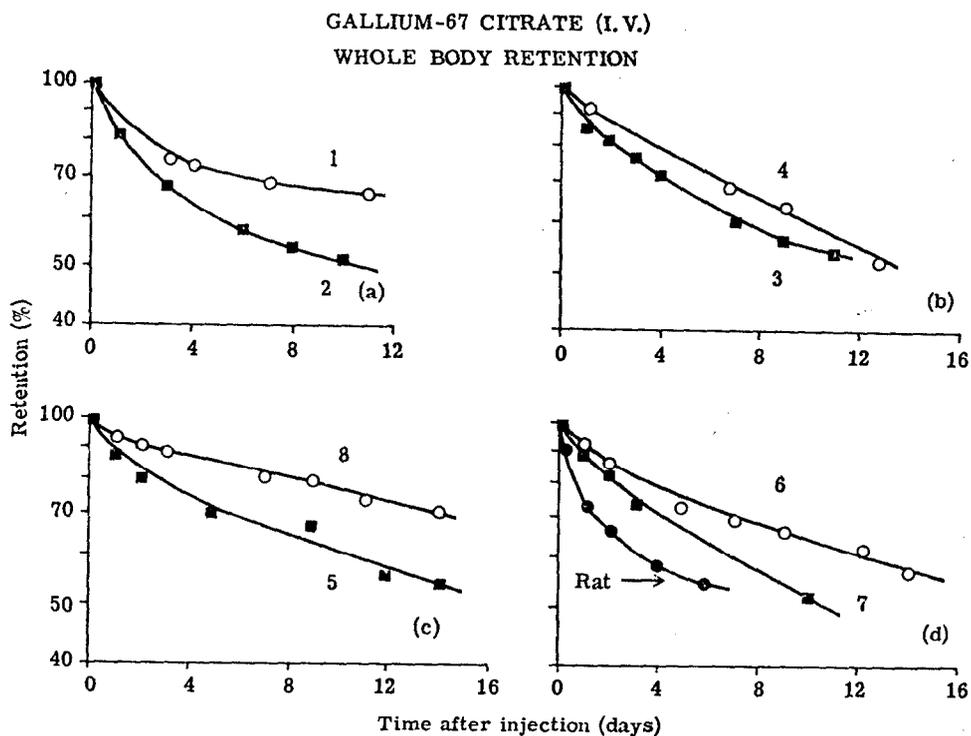


Fig. 2.

Whole body retention of ^{67}Ga after intravenous injection of citrate for seven patients investigated. In (d) shows the mean retention in three August-Marshall hybrid rats (Popham et al., 1970) (21). All values corrected for physical decay to illustrate biological turnover. (Reproduced from Saunders et al., 1973 (22) by permission of the authors and publishers).

Table III

Dosimetry of ⁶⁷Ga citrate in man. (Based on Table IV of Saunders, Taylor and Trott, 1973). (22)
 (These results are derived from measurements on 19 patients following intravenous administration).

Organ and assumed mass * (kg)	~ % administered activity x hours	Absorbed dose (rad/mCi administered iv) arising from :				Total absorbed dose (rads/mCi administered iv) ± 1 σ	
		activity within organ	activity within neighbouring organs	"residual" activity (assumed uniformly distributed in the remainder of the body)			
		non-Penetrating	Penetrating	Penetrating	Penetrating	These investigations	Data from ** previous studies
Blood(5.25)	915	0.13	0.16	+	+	0.29 ± 0.06	0.17
Liver(1.83)	1,440	0.61	0.48	0.03	0.09	1.21	0.40
Spleen(0.175)	300	1.31	0.48	0.02	0.06	1.87	0.36
Whole Body(70)	8,655//	0.10	0.16	-	-	0.26 ± 0.02	0.21

* From MIRD Pamphlet No 5 (Snyder et al 1969).

** From Popham et al (1970), (21); in conversion of experimental data on the rat to man, it was assumed that there is the same relative uptake per unit mass of tissue, in proportion to total body mass, in both species (see Trott et al 1975) (23).

+ The contribution to the dose to the blood from the penetrating radiation is the same as the whole body value and has been included in the 0.16 in column 4.

// If assumed to arise entirely from activity in the skeleton, value can be compared with that of 3,200 derived from direct measurements on the skeleton of the rat (Popham et al, 1970) (21). Upper limits to absorbed dose in skeleton and in marrow then become 1.1 and 1.3 rad/mCi in place of previous values of 0.41 and 0.47.

By such methods, data are comparatively slowly being assembled for the numerous radiopharmaceuticals now in clinical use. The recent pamphlet by Dillman and von der Lage (1975) (19) in citing 122 radionuclides, names in fact one tenth of all the known isotopes as being of medical interest and this number is of course exceeded by the number of compounds. Biological data and associated computations of absorbed dose for a few compounds have been prepared by the MIRD Committee, chiefly in Special Reports appearing in the Journal of Nuclear Medicine (1973 - 1976)(Table IV).

⁷⁵Se selenomethionine is, to date, the only radiopharmaceutical dealt with in a full pamphlet prepared for the MIRD Committee. McEwan (24) published in 1967 a valuable report on work in New Zealand and subsequently certain compendia have been issued, where authors have used data taken from the literature, generally without re-calculation. These include a detailed Swedish report (25) and ICRP No. 17 (26). In addition in 1970 and 1976 symposia have been held at Oak Ridge where detailed discussion took place on many separate problems (27) (28). Husak (29) published a critical analysis of MIRD data. Table V gives a brief summary of data for the radiopharmaceuticals used at the Royal Marsden Hospital and indicates the wide range of doses resulting from different tests, and some of the current areas of uncertainty.

The values of absorbed dose come from our own work and from the other references cited; however, although a short summary in this form is of interest as a general guide, it is essential to refer to the original literature and submit data to a detailed critical analysis when first planning to undertake work with a particular radiopharmaceutical.

4. Discussion.

4.1 The data presented in the Tables given here show the mean absorbed dose to individual organs, including in some examples, the whole body. It will be evident that no single encyclopaedic list covering all the likely variables in age, sex, clinical condition of the patient and other factors yet exists or is likely to be created. The cited values relate only to the model assumed for the calculations and must be so regarded. The MIRD Dose estimates provide such a foundation, in giving associated values of \tilde{A} and other parameters.

4.2 For certain organs (and also certain radionuclides), the average

Table IV MIRDO Dose Estimate Reports

(Journal of Nuclear Medicine)

Summaries of current radiation dose estimates to humans

(Volume) & Year	No.	P	Radiopharmaceutical
(14) 1973	1	49	^{75}Se -L-selenomethionine
	2	755	66, 67, 68, ^{72}Ga -citrate
(16) 1975	3	108A	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ sulphur colloid (various liver conditions)
	4	173	^{198}Au colloidal gold (various liver conditions)
(16) 1975	5	857	123, 124, 125, 126, 130, 131, ^{132}I as sodium iodide
	6	1095	197, ^{203}Hg -labelled chlormerodrin
	7	1214	123, 124, 126, 130, ^{131}I as sodium rose bengal
(17) 1976	8	74	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ as sodium pertechnetate

Note : The " Radiochemical and Radiopharmaceutical " and the " Instrumentation and Physics " sections of this Journal also contain individual papers on dosimetry.

Table V

Activities used in selected procedures and estimated values of absorbed dose

Radio-pharmaceutical	Application	Activity ^(a) Normally administered (mCi)	Absorbed Dose For activity normally administered mrad				Ref.	Notes
			Whole Body	Gonads ^(b)	Bone ^(c) Marrow	Other organs		
	Electrolytes and absorption tests etc.							
³ H tritiated water	Total body water	0.1	20	(20) ⁺			ii	
²⁴ Na sodium chloride	exchangeable sodium	0.01	20	(20) ⁺			ii	
⁴² K potassium chloride	Exchangeable potassium	0.1	90 150	(150) ⁺			ii xi	
⁵¹ Cr chromic chloride	Loss of serum protein	0.05	50-100	-		Liver 400-1750 Spleen 650-1200	iii	
¹²⁵ I human serum albumin	Plasma volume	0.005	2.5-3.5	3 ⁺		Blood 15	iii	
⁵⁸ Co vitamin B12	Vitamin B12 absorption	0.001 (oral) (Schilling)	-	2.6 male 8.3 female		Liver 210	xiii	~ 40 % retained in liver

⁵⁹ Fe ferric chloride	Iron absorption	0.01 (oral)	36	20 ⁺	13 [*]	G.I.T. 330	ii	10 % absorbed
	Function Tests							
¹²⁵ I PVP	Protein interopathy	0.01	20	- 0.3m. 1f.		Liver 13 410	iii xiii	See note (4) discrepancy
¹³¹ I iodide	Thyroid uptake	0.005	13	10 (male) 2 (female)		Thyroid 15x10 ³	xiii ii	values for 50 % uptake in thyroid
⁵¹ Cr erythrocyte	Red cell	0.1	25	22 ⁺		Liver 180-300 Spleen 3000 Blood 100-500	i,iii xiii	See Note (5)
⁵⁹ Fe ferric citrate	Ferrokineitics	0.01	50-350	220 ⁺	130 [*]	Liver 1000 Spleen 1400 Blood 750-1000	iii	
⁵² Fe ferric citrate	Bone marrow ferrokineitics	0.07	70	-	1500	Liver 280	iv	normal marrow function
¹²³ I o-iodo hippurate	Renal function	0.1	0.8	1.5 male 2.9 female		Kidneys 160	v	note (d)
¹³¹ I o-iodo hippurate	Renal function	0.025	0.4	1 male 1.5 female		Kidneys 150	v	note (d)
⁵¹ Cr EDTA	Glomerular filtration rate	0.1	-	-		Kidneys 14	iii	

	Imaging Procedures							
^{67}Ga gallium citrate	Lymphatics	2	520	$(520)^+$	2600	Liver 2400	vi	
^{75}Se seleno-methionine	Pancreas	0.25	-	2500^+		Pancreas 3000 Liver 6000	vii	
$^{99}\text{Tc}^m$ pertechnetate	Brain	10	140	180^+	190	Thyroid 1300	viii	
$^{99}\text{Tc}^m$ sulphur colloid	Liver	4	60	80^+	80	Liver 1300 Spleen 200 Blood 70	xii	
$^{99}\text{Tc}^m$ MDP	Skeleton	10	-	180^+	?(e)	Skeleton 400	x	See note (6)
$^{113}\text{In}^m$ colloid	Liver	2	20	-	160	Liver 900 Spleen 160 Blood 30	xii	

Table V

Footnote :

- (a) i.v. unless otherwise stated.
- (b) Ref. xi. (35)
- (c) Estimates of absorbed dose to red marrow or whole skeleton are frequently not given by original authors. Values marked • are for skeleton, derived from Ref. (ii).
- (d) Absorbed dose value for kidneys applies to patient with tubular necrosis; other values are for normal subject. Ref. v notes wide range of absorbed dose to kidneys e.g.

Condition	25 µCi i.v.	Absorbed dose to Kidneys	
		¹³¹ I	¹²³ I
		mrad	
Normal subject		2.4	0.5
Total obstruction with 50% uptake		10,000	150

- (e) Blau (1976) stresses lack of the data needed.

Notes (1) References are given in full at end of paper : (relevant numbers in ())

- Key i ICRP 17 (1971) (26)
 ii Vennart and Minski (1962) (10)
 iii NIRP (1969) (25)
 iv Lillicrap et al (1976) (42)
 v Elliott et al (1976) (43)

vi	Saunders et al (1973)	(22)
vii	MIRD pamphlet 9	(See Table II)
viii	MIRD Dose estimate 8	(See Table IV)
ix	MIRD Dose estimate 3	(See Table IV)
x	Blau (1976)	(44)
xi	Ellis et al (1977)	(35)
xii	French et al (1968)	(45)
xiii	McEwan (1967)	(24)

- (2) This table is intended only as a general guide to the range of absorbed dose produced in some widely used tests. Reference to the original literature through the source references cited is essential in preparing detailed assessments for individual procedures. There are considerable variations in values cited in the literature.
- (3) In column for gonads, data marked ⁺ are from Ellis et al (1977). Square bracket () indicates that Ellis et al took absorbed dose to gonads equal to mean absorbed dose to whole body; the other values relate to female gonads.
- (4) ¹²⁵I PVP. See Hulme et al., (1968) (49) for discussion of disagreements in kinetic data.
- (5) Absorbed dose to spleen depends markedly on patient's clinical condition. Value cited for dose to spleen would apply if ~ 50 % retained in spleen with effective half life of 15 days.
- (6) This estimate of absorbed dose to the skeleton is based on the assumption that 50 % of the administered activity is retained in that organ with an effective half life of 6 hours, and the remainder rapidly excreted. Data from MIRD Pamphlet No 11 (see Table II) were used in calculating the absorbed dose.
As Blau (44) points out such an estimate is, in fact, unrealistic and the biological data needed for improved estimates are not at present available.

dose to a whole organ may not be the quantity needed in considering any potential risks from particular procedures, and this topic was discussed at the recent Oak Ridge Symposium. Special interest has been taken in the organs, bone, thyroid and kidneys and in the dosimetry of low energy β and X-ray emitters, such as ^3H and ^{125}I (30) (31) (32) (33).

4.3 The proper use of estimates of the absorbed dose from radiopharmaceuticals in guiding clinical decisions, is a matter of debate. For example :

- (a) should the physician concerned - or any advisory or regulatory authority - relate estimated doses to " Values of Maximum Permissible Dose " for occupationally exposed workers or the public ? or
- (b) should judgement be based on a comparison with doses given in associated or equivalent X-ray diagnostic procedures ? (Table VI).

If the latter approach is adopted, it should be noted that for X-ray procedures doses to the skin, gonads and bone marrow, although often the sole data reported may be established with reasonable confidence and can be related to particular studies on radiobiological effects at higher levels of dose. However, for procedures with radionuclides, the dose to these sites is often much less certain, while the significance of the generally more reliable estimates of dose to other sites, such as liver, spleen or kidneys is not so well understood.

5. Application of the " 10 day rule ".

ICRP Publication 9 (1966) (34) recommended that radiological examinations of the lower abdomen and pelvis of women of reproductive capacity which could without detriment be postponed until conclusion or the latter half of a pregnancy should be carried out during the 10-day period following menstruation, the period when pregnancy is most improbable. Currently, in the United States the validity of this recommendation is queried but it is at present accepted in the United Kingdom.

Recently Ellis et al (35) have published tables showing the gonad dose in 48 procedures with 32 different radionuclides. Gonad doses range from 0.12 mrad (^{125}I Hippuran) to 4 rad (^{32}P -DFP). After discussing the differences between administrations of radiopharmaceuticals for research purposes to either (a) volunteers or (b) consenting patients, and for (c) strictly diagnostic reasons (36) they present certain recommendations. They presume that for groups (b) and (c) where the gonad dose exceeds 50 mrad and the effective half life is short compared with 10 days, the

Table VI

Dose to various organs for selected X-ray and radionuclide diagnostic procedures (i)

Technique		Skin dose (mrad) or activity administered (mCi)	Organ investigated	Dose (mrad) per examination :		
				Organ investigated	Bone Marrow	Gonad+ M Male, F. Female
X	Angiography (head)	1000	Brain	200 (ii)	130 M	0.06 M 1.9 F
RN	Tc-99m pertechnetate (scan)	5		20 (v)	100 (iv)	50 M 100 F (iv)
X	Dorsal spine	2000	Skeleton	150 (ii)	200 M	6 M 12 F
RN	F-18 (scan)	1		180 (vi)	220 F 180 (iii)	73 (vi)
X	Bronchogram	200	Lung	50 (ii)	31 M	5 M 17 F
RN	Tc-99m macro-aggregated albumin (scan)	1.5		300 (vii)	20(viii)	11 M 14 F (vii)
X	Abdomen	1400	Liver	450 (ii)	120 M	100 M
RN	Tc-99m colloid (scan)	2		680 (iv)	130 F 70 (iv)	210 F 2 M 10 F (iv)

Table VI

Footnotes :

- (i)+ Data concerning dose to the skin, bone marrow and gonads in x-ray examinations were derived from the reports of the Adrian Committee : (1960) Table 10 and (1966) Table AI. Note that in the (1960) report, doses were cited in mR : in citing here in mrad the same values were used. (2).
- (ii) Estimated dose to centre of organ based on depth dose data (Trott et al 1970) (47).
- (iii) Assumed equal to dose to skeleton.
- (iv) From MIRD Dose Estimates, (see Table IV).
- (v) Weber et al (48).
- (vi) Vennart and Minski (10).
- (vii) Kereiakas et al (46).
- (viii) Assumed equal to whole body dose (46).

All values have been rounded to two significant figures, where appropriate.

Table VII (from Ellis et al 1977) (35)

Procedures in which (a) the absorbed dose to the gonads exceeds 50 mrad and
 (b) the effective half-life T_{eff} is short compared with 10 days.

Radioactive ⁺ Material	Typical activity administered (i.v.) (mCi)	Absorbed Dose to gonads (rad)	T_{eff}
^{11}C monoxide	5	0.06	20m
dioxide	5	0.12	20m
^{18}F [°]	8	0.56	1h
^{43}K	1	1.1 [°]	22h
^{67}Ga	2	0.52 [°]	2d
$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ complexes for renal scintigraphy	2	0.2	6h
HSA	2	0.18	6h
pertechnetate	10	0.18	6h
polyphosphate & similar prepara- tions	10	0.18	6h
$^{113}\text{In}^{\text{m}}$ DPTA	10	0.06 [°]	1.7h
^{129}Cs	3	0.7 [°]	1.3d
^{131}I MAA	0.3	0.09 [°]	12h

[°] mean dose to whole body.

⁺ simple ionic form unless otherwise stated. Note : Ellis et al state that data were taken from ICRP 17 or more recent estimates.

• At the Royal Marsden Hospital the activity of ^{18}F administered for skeletal surveys was typically 1-2 mCi.

"rule" should be followed. They then note that with this criteria only those tests given in Table VII need be considered for postponement.

6. Regulations and Advice .

The problems of authorizing the use of radioactive materials in humans have been under consideration for many years; Kriss et al.(1967) (37), for example, reported on guidelines adopted at Stanford University, USA. In the United Kingdom we have since 1948, an Isotope Advisory Panel, consisting of a number of specialists, including physicians and physicists. The panel was set up originally by the Medical Research Council to advise those responsible for reactor operation at that time on requests for isotopes from potential medical users; it soon became de facto an advisory service to users and suppliers. It was re-constituted in 1976 under the Department of Health and Social Security (DHSS) with initially similar terms of reference (38). In due course this panel is expected to prepare a list of radiopharmaceuticals with the activities recommended for individual tests.

It will be clear that the activities recommended will inevitably represent a judgement of the least activity that can be used in a particular test consistent with achieving the desired medical result in the test itself. It is expected that, in meeting the requirements of the 1976 Directive, (Article (5a)) appropriate physicians will be authorized to use all the materials on this list; they will probably be advised to consult the panel if they wish to use higher activities.

Users of radiopharmaceuticals have, of course, in addition to dosimetry, the problem of the pharmaceutical safety of the materials, particularly where these incorporate short lived radionuclides and have to be prepared in a hospital's own laboratories. Much discussion is taking place in the United Kingdom on this problem, which involves the implementation of certain parts of the Medicines Act (39); two groups of users (40) (41) published unofficial reports intended to guide those involved in procedures which will be regarded as safe and in conformity with the law (Taylor et al, 1975; HPA 1976), (42) (43).

Conclusion.

In this report, progress in the radiation dosimetry of radiopharmaceuticals has been reviewed. The physical methods described are now well understood and widely used; these methods can be applied to biological models

and values of absorbed dose calculated. The extent to which the models chosen reflect the actual distribution and turnover pattern in particular patients or groups of patients is a matter for continuing research and any compendia of data must at the present time be viewed with healthy scepticism and applied with circumspection.

Acknowledgements.

I wish to express my warm thanks to Professor O. Segaert, President of the Belgian Association for Radiological Protection, for his kind invitation to take part in this meeting and for the hospitality provided, and to Dr. P.A. Becquevort, of the Belgian Society of Nuclear Medicine, for his part in these arrangements.

I wish to thank the Department of Medical Art, Royal Marsden Hospital and Mrs. J.E. Edwards and Mrs. L. Sargeant for their expert work in the preparation of illustrations and the final text.

REFERENCES

- (1) OSBORN, S.B., ELLIS, R.E., " Protection from ionizing radiation", Ch. 29, The Science of Ionizing Radiation (ETTER, L.E., Ed) Thomas, New York (1965).
- (2) Committee on Radiological Hazards to Patients, interim report, second report, final report, Lord Adrian, Chairman, Her Majesty's Stationery Office, London (1957, 1960, 1966).
- (3) MARINELLI, L.D., QUIMBY, E.H., HINE, G.J., Dosage determination with radioactive isotopes I, II, Nucleonics 2 4, 2 5 (1948) 44, 56.
- (4) MAYNEORD, W.V., Some applications of physics to medicine, Supp. No 2, British Journal of Radiology (1950).
- (5) MAYNEORD, W.V., SINCLAIR, W.K., " The dosimetry of artificial radioactive isotopes " in Advances in Biological and Medical Physics III, Academic Press, New York (1953) 1.
- (6) LOEVINGER, R., HOLT, J.G., HINE, G.J., " Internally administered radioisotopes ", Ch. 17, Radiation Dosimetry (HINE, G.J., BROWNELL, G. L., Eds), Academic Press, New York (1956).
- (7) Medical Research Council " The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations ", 1st and 2nd Reports, Her Majesty's Stationery Office, London (1956, 1960) Cmdr. 9780, 1225.
- (8) MORGAN, K.Z., SNYDER, W.S., FORD, M.R., Maximum permissible concentration of radioisotopes in air and water for short period exposure, International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy A/conf. 8/D/79 (1955).
- (9) SLACK, L., WAY, K., Radiations from radioactive atoms in frequent use, USAEC, Washington D.C. (1959).
- (10) VENNART, J., MINSKI, M., Radiation dose from administered radionuclides, British Journal of Radiology 35 (1962) 372.
- (11) Code of Practice for the Protection of Persons against Ionizing Radiations arising from Medical and Dental Use, Her Majesty's Stationery Office, London (1964).
- (12) HARPER, P.V., BECK, R., CHARLESTON, D., LATHROP, K., Optimization of a scanning method using Te-99m, Nucleonics 22 1 (1963) 50.
- (13) Report of " A consultation on the reduction of radiation exposure resulting from internally administered radioisotopes " at WHO Geneva (1969).

- (14) ROEDLER, H.D., KAUL, A., HINZ, G., PIETZSCH, W., STIEVE, F.E.,
" Genetically significant dose from the use of radiopharmaceuticals "
in Population Dose Evaluation and Standards for Man and his Environ-
ment, IAEA, Vienna (1974) 377.
- (15) Council Directive of 1 June 1976 (76/579/Euratom) Official Journal
of the European Communities, 19 L187 12 July 1976.
- (16) Royal Commission on Environmental Pollution, Sir Brian Flowers,
Chairman, 6 th Report Nuclear Power and the Environment, Her Majes-
ty's Stationery Office, London (1976) Cmnd. 6618.
- (17) LOEVINGER, R., BERMAN, M., A formalism for the calculation of absor-
bed dose from radionuclides, Physics in Medicine and Biology, 13
(1968) 205.
- (18) BROWNELL, G.L., ELLETT, W.H., REDDY, A.H., Absorbed fractions for
photon dosimetry, MIRD Pamphlet No 3, Supp. No 1, Journal of Nuclear
Medicine (1968).
- (19) DILLMAN, L.T., Von der LAGE, F.C., Radionuclide decay schemes and
nuclear parameters for use in radiation-dose estimations, NM/MIRD
Pamphlet No 10, Society of Nuclear Medicine (1975).
- (20) SNYDER, W.S., FORD, M.R., WARNER, G.G., WATSON, S.B., "S", absorbed
dose per unit cumulated activity for selected radionuclides and or-
gans, NM/MIRD Pamphlet No 11, Society of Nuclear Medicine (1975).
- (21) POPHAM, M.G., TAYLOR, D.M., TROTT, N.G., Evaluation of the dosimetry
of intravenously administered 67-Ga citrate from measurements of the
distribution in male August-Marshall hybrid rats, British Journal of
Radiology 43 (1970) 807.
- (22) SAUNDERS, M.G., TAYLOR, D.M., TROTT, N.G., The dosimetry of 67-Ga
citrate in man, British Journal of Radiology 46 (1973) 456.
- (23) TROTT, N.G., O'CONNELL, M.E.A., ROSS, H.A., SMITH, P.H.S., TAYLOR,
D.M., " Some studies of the dosimetry and safety of radiopharmaceu-
ticals "in Radioaktive Isotop in Klinik und Forschung (HOFER, R.,
Ed), Urban and Schwarzenberg, München 11 (1975) 1.
- (24) McEWAN, A.C., Unsealed radioisotopes in medical practice in New Zea-
land, Pub. NRL/PDS/National Radiation Laboratory, Christchurch (1967).
- (25) Stråldoser från radioaktiva ämnen i medicinskt bruk, Stats strål-
skydds institut Fack 104 01 Stockholm 60 (1969).
- (26) ELLIS, R.E., Protection of the patient in radionuclide investigations,
ICRP Pub. 17, Pergamon, Oxford (1969).

- (27) Medical Radionuclides : Radiation Dose and Effects (CLOUTIER, R.J., EDWARDS, C.L., SNYDER, W.S., ANDERSON, E.B.), Conf. 691212, USAEC, Washington D.C. (1970).
- (28) Radiopharmaceutical Dosimetry Symposium (CLOUTIER, R.J., COFFEY, J. L., SNYDER, W.S., WATSON, E.E., Eds), U.S. Dept. Health, Education and Welfare HEW FDA 76-8044, Washington D.C. (1976).
- (29) HUSAK, V., New methods for calculation of dose from radiopharmaceuticals, *Radiobiologica Radiotherapia* 13 4 (1972) 460.
- (30) GILLESPIE, F.C., ORR, J.S., GREIG, W.R., Microscopic dose distributions from ^{125}I in toxic thyroid gland and its relation to therapy, *British Journal of Radiology* 43 (1970) 40.
- (31) HOFFER, K.G., HUGHES, W.L., Radiotoxicity of Intranuclear tritium, iodine 125 and iodine 131, *Radiation Research* 47 (1971) 94.
- (32) LEWITUS, Z., LUBIN, E., RECHNIC, J., BEN-PORATH, M., FEIGE, Y., Treatment of thyrotoxicosis with ^{125}I and ^{131}I , *Seminars in Nuclear Medicine* 1 (1971) 411.
- (33) SPIERS, F.W., Radionuclides and bone - from ^{226}Ra to ^{90}Sr , *British Journal of Radiology* 47 (1974) 833.
- (34) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Pub. 9, Pergamon, Oxford (1966).
- (35) ELLIS, R.E., NORDIN, B.E.C., TOTHILL, P., VEALL, N., The application of the " ten day rule" in radiopharmaceutical investigations, *British Journal of Radiology* 50 (1977) 200.
- (36) Irradiation of human subjects for medical research, *British Institute of Radiology Bulletin* 1 2 (1975) 4.
- (37) KRISS, J.P., et al., Guidelines and criteria for a committee authorizing the use of radioactive isotopes in humans, *Journal of Nuclear Medicine* 8 (1967) 70.
- (38) Health Service Development, Isotope Advisory Panel HN (76) 84, DHSS, London (1976).
- (39) Medicines Act, Her Majesty's Stationery Office, London (1968).
- (40) TAYLOR, D.M., et al., Guidelines for the Preparation of Radiopharmaceuticals in Hospitals, Special Report No 11, British Institute of Radiology, London (1975).
- (41) McINTOSH, J.A., et al., The Hospital Preparation of Radiopharmaceuticals, Scientific Report Series 16, Hospital Physicists Association, London (1977).

- (42) LILLICRAP, S.C., STEERE, H.A., CLINK, H.M., Distribution and dosimetry of ^{52}Fe and ^{59}Fe in bone marrow and other organs in Radioaktive Isotop in Klinik und Forschung (HOFER, R., Ed), Egermann, Vienna 12 (1976) 79.
- (43) ELLIOTT, A.T., et al., " Dosimetry of current radiopharmaceuticals used in renal investigations " in Radiopharmaceutical Dosimetry Symposium (See Ref (28)) (1976) 293.
- (44) BLAU, M., " Problems of dose calculations for technetium 99 m bone scanning agents " in Radiopharmaceuticals Dosimetry Symposium (See Ref (28)) (1976) 305.
- (45) FRENCH, R.J., JOHNSON, P.F., TROTT, N.G., Dosimetry of indium 113 m in Medical Radioisotope Scintigraphy, IAEA, Vienna 1 (1969) 843.
- (46) KERIAKES, J.G., et al., " Pediatric radiopharmaceutical dosimetry " in Radiopharmaceutical Dosimetry Symposium (See Ref (28)) (1976) 77.
- (47) TROTT, N.G., STACEY, A.J., ELLIS, R.E., DERMENTZOGLU, F.M., " The dosimetry of selected procedures using X-rays and radioactive substances " in Medical Radionuclides : Radiation Dose and Effects (see Ref (27)) (1970) 157.
- (48) WEBER, D.A., KING, M.A., O'MARA, R.E., " Brain dosimetry - a review and update " in Radiopharmaceutical Dosimetry Symposium (See Ref (28)) (1976) 376.
- (49) HULME, B., DYKES, P.W., APPLEYARD, I., ARKELL, D.W., Retention and storage sites of radioactive polyvinylpyrrolidone, Journal of Nuclear Medicine, 9 (1968) 389.

NOTE: MIRD Pamphlets (see Table II) can be purchased from MIRD Pamphlets, Society of Nuclear Medicine, 475 Park Avenue South, New York, New York 10016, U.S.A.

SAMENVATTING

Er zijn ongeveer 30 jaar verstreken sedert de eerste gedetailleerde studies verschenen over de dosimetrie van inwendig toegediende radioisotopen. Door de snelle uitbreiding gedurende de laatste tien jaar van de klinische toepassing van radioisotopen, is dit onderwerp van toenemend belang. Zulks blijkt uit de aandacht welke aan dit onderwerp besteed wordt in een recente E.E.C. richtlijn.

Een aanzienlijke inspanning werd geleverd door I.C.R.P., I.C.R.U. en andere verenigingen, in het bijzonder door het Medical International Radiation Dose Committee (M.I.R.D.) van de US Society of Nuclear Medicine, om samenhangende methoden te ontwikkelen voor de bepaling van de geabsorbeerde dosis in organen van het menselijk lichaam, voor een gegeven model van activiteitsverdeling in een patiënt.

Aanzienlijke moeilijkheden worden ondervonden bij het verzamelen van representatieve gegevens over de verdeling van radioisotopen in menselijke proefpersonen.

Een overzicht wordt gegeven van de technieken, aangewend bij de bepaling van de geabsorbeerde dosis, bij een gegeven verdeling van het radioisotoop in het menselijk lichaam. Er volgt een beschrijving van methoden, gebruikt bij het verkrijgen van biologische en klinische gegevens. Het probleem, dat verband houdt met de extrapolatie van gegevens, bekomen bij proefdieren, tot de menselijke geneeskunde, wordt besproken.

Voorbeelden illustreren de berekening van geabsorbeerde doses en uittreksels van volledige studies in verband met de dosimetrie van geselecteerde radioisotopen worden aangevoerd.

Enige vergelijkingen worden gemaakt tussen de doses waaraan men blootgesteld is bij X-stralen onderzoek en deze bij methoden waarbij gebruik gemaakt wordt van radioisotopen.

RESUME

Trente ans se sont écoulés depuis les premières études détaillées concernant la dosimétrie des radionucléides, dans l'usage interne. Dû à l'expansion rapide pendant les derniers 10 ans de l'application clinique des radionucléides, le sujet a gagné de l'importance, marquée par l'attention attribuée à ce sujet dans un E.E.C. Directive de date récente.

Un effort considérable a été fait par I.C.R.P., I.C.R.U. et d'autres groupes, particulièrement par le Medical Internal Radiation Dose Committee (M.I.R.D.), de la US Society of Nuclear Medicine, pour développer des méthodes cohérentes en vue de l'évaluation de la dose absorbée par les organes du corps humain; ceci en rapport avec un modèle bien déterminé de la distribution de l'activité dans un patient.

Néanmoins, on a rencontré des difficultés considérables pour obtenir des données représentatives concernant la distribution des produits radiopharmaceutiques dans le corps humain.

L'article contient une description de techniques qui peuvent servir à déterminer la dose absorbée pour une distribution donnée des radionucléides dans le corps humain. Des méthodes pour obtenir des données biologiques et cliniques sont décrites; le problème de l'extrapolation vers la médecine humaine, des données obtenues avec des animaux a été considéré.

Des exemples sur l'évaluation de la dose absorbée sont donnés ainsi que quelques extraits d'études complètes, sur la dosimétrie des produits radiopharmaceutiques sélectionnés.

Quelques comparaisons ont été faites entre les doses causées par les examens aux rayons-X et celles causées par l'emploi des produits radiopharmaceutiques.

SUMMARY

It is now almost 30 years since the first detailed studies were made of the dosimetry of internally administered radionuclides. With the rapid expansion over the past 10 years of the clinical applications of radionuclides the subject has become of increasing importance and this is recognised in the attention given to the subject in a recent EEC Directive. Considerable effort has been made by ICRP, ICRU and other groups, in particular the Medical Internal Radiation Dose Committee (MIRD) of the US Society of Nuclear Medicine, to develop comprehensive methods of evaluating the absorbed dose to organs of the body for a given model of the distribution of activity in a patient.

However, considerable difficulties have been experienced in acquiring representative data on the distribution in human subjects of individual radiopharmaceuticals.

An outline is given of the techniques used in deriving the absorbed dose for a given distribution of radionuclide in man. Methods used in acquiring biological and clinical data are described and the problems of extrapolation data on animals to man are discussed. Examples of absorbed dose calculations are given and extracts from complete studies of the dosimetry of selected radiopharmaceuticals presented. Some comparisons between doses delivered by X-ray investigations and radiopharmaceutical procedures are shown.

LA DOSIMETRIE EN RADIODIAGNOSTIC - LE RISQUE RADIQUE.

P. BERNADAC

Service de Radiologie, Centre Hospitalier Régional de Nancy.

19 mars 1977.

L'apport de la radiologie médicale dans l'approche du diagnostic, du bilan lésionnel et des indications thérapeutiques, ne doit pas pour autant faire oublier les dangers inhérents à l'utilisation de toute radiation ionisante. Si les risques somatiques ont à peu près totalement disparu, sauf au niveau de l'embryon, les risques génétiques sont potentiellement graves et susceptibles de compromettre l'avenir d'une population donnée. Notre enquête, entreprise il y a près de 16 ans, porte sur les procédés permettant une diminution de la dose au cours d'un examen donné, sur l'estimation du risque radique.

Procédés permettant une diminution de la dose au cours d'un examen donné :

Près de 8000 mesures de dose d'entrée, de dose de sortie, de dose surface incidente, nous ont permis de préciser l'importance de la dose distribuée et des très importantes possibilités de réduction du coût radique d'un examen.

Estimation du risque radique :

La dose moelle et la dose gonade sont les deux grands types d'évaluation de ce risque.

La dose moelle intègre la dose en plusieurs points de la moelle osseuse irradiée, et le volume de moelle concerné. Elle s'exprime obligatoirement en gramme par rad.

La dose gonade, mesurée indépendamment pour chaque sexe, s'exprime en rad. Il s'agit de la dose moyenne génétiquement significative : c'est-à-dire la dose moyenne aux gonades de sujets des deux sexes, de moins de 30 ans.

L'enquête, menée dans deux services de radiodiagnostic du Centre Hospitalier Universitaire de NANCY, est relatée et ses résultats analysés et comparés à ceux obtenus par J. REBOUL en 1959.

Voici quelques conclusions :

- la surface moyenne de films utilisée par type d'examen a peu varié depuis 1959;
- la répartition globale des examens est peu différente;
- l'accroissement de la surface de film radiographique consommée, rapportée à la population, reste le meilleur moyen de contrôle de la dosimétrie globale. Pour J. REBOUL, la dose gonade totale, annuelle d'ue au radiodiagnostic était, en France, en 1959 (radioscopie exclue) de 1.350.000 Rem, soit 33 mRem par individu et par an. Compte tenu de l'accroissement de la population, en France, entre 1959 et 1976, et sachant que la surface de film consommée a quadruplé (passant de 2,5 milliards de m² à 10 milliards de m² par an), on aboutit à une estimation de la dose gonade de 100 mRem par an et par habitant.

Ceci prouve que le radiodiagnostic apporte, déjà, à la population une dose du même ordre que la dose maxima admissible, fixée pour l'utilisation industrielle des radiations ionisantes, par l'I.C.R.P.

La solution, pour réduire ce risque réel, en dehors de tous les moyens permettant de diminuer la dose, réside d'abord dans l'optimisation du recours au radiodiagnostic. Ceci postule à la nécessité d'étude de type coût - avantages, pour déterminer les stratégies optimales.

LA PROTECTION DU PATIENT DANS LE DIAGNOSTIC PAR RAYONS X.

DELHOVE J.

Directeur de l'organisme agréé CONTROLATOM.

Boulevard Général Jacques 198, 1050 Bruxelles, Belgique.

19 mars 1977

RESUME

Les doses reçues en moyenne aux gonades, à la moëlle et au foetus, organes les plus critiques, restent dans le domaine des doses faibles. On ne peut, cependant que souscrire sans réserve aux hypothèses prudentes de la Commission Internationale de Protection Radiologique, à savoir la linéarité de la relation dose-effet et l'absence de seuil.

Dans cette optique, les objectifs à atteindre sont :

- 1) Au niveau de l'individu, le bénéfice de l'examen est sans commune mesure avec le risque; la primauté doit rester à une information radiologique la meilleure possible.
- 2) Au niveau de la collectivité, il est indispensable d'éliminer toute irradiation intempestive du patient qui représente un accroissement potentiel insupportable de la charge génétique ou somatique. Ces objectifs ne peuvent être conciliés qu'en réduisant la dose au patient au strict nécessaire grâce à :
 - un bon jugement clinique
 - un équipement radiologique bien conçu et offrant une protection efficace
 - une bonne technique de travail et un personnel formé
 - une bonne interprétation de l'information.

Devant la complexité des problèmes technologiques liés à la radiologie médicale et la spécificité du problème contre les rayonnements, les pays anglo-saxons ont depuis longtemps mis en pratique une collaboration pluridisciplinaire du médecin et du physicien de sécurité (radiological safety officer).

Cette collaboration s'inscrit en Belgique dans la mission de l'expert de contrôle physique attaché à l'établissement ou à un organisme agréé privé de contrôle physique.

Quelques résultats des contrôles physiques effectués depuis une dizaine d'années sont mis en évidence.

La réduction de la dose reçue par le patient au cours des examens par rayons X est un problème relativement récent. C'est un des critères retenus par la réglementation du 23 décembre 1970 pour l'agrément des appareils à rayons X par le Ministère de la Santé Publique. Cette question a également remué l'opinion publique l'année dernière au sujet des examens radiophotographiques de masse.

Je me propose d'examiner succinctement l'expérience que nous avons acquise durant les dix dernières années, c'est-à-dire depuis 1971 dans le cadre de la surveillance des installations à rayons X.

Permettez-moi tout d'abord de planter le décor et de rappeler dans quel cadre se situe cette surveillance. Depuis 1963 (A.R. du 28.2.1963 - Règlement Général de Protection contre les Radiations Ionisantes), les établissements où sont utilisées des radiations ionisantes et, en particulier, les appareils à rayons X à usage médical doivent organiser en leur sein un service de Contrôle Physique des Radiations dirigé par un expert agréé. A défaut d'avoir un tel expert à son service, et ce sera presque toujours le cas dans les établissements médicaux, l'établissement doit alors confier les missions de contrôle physique à un organisme agréé.

Depuis 1971, comme rappelé plus haut, les appareils de radiographie médicale doivent, en plus, être d'un type agréé par le Ministère de la Santé Publique. A cet effet, l'organisme agréé établit un rapport portant sur les conditions de fonctionnement et de protection de l'appareil et sur les risques d'irradiations intempestives qu'il fait éventuellement courir au personnel et au patient. Cette agrégation se fait sur base de la norme belge NBN 400. Cette norme a été remplacée sur le plan international par la norme CEI 407 du Comité Electrotechnique International qui ne la modifie pas fondamentalement. On doit également citer les recommandations de la CIPR (Commission Internationale de Protection Radiologique) et plus particulièrement le document ICRP 15.

L'objectif est d'éliminer toutes les irradiations inutiles du patient, c'est-à-dire celles qui ne sont pas nécessaires à la qualité du diagnostic médical, qui reste prioritaire. Il semble que cet objectif soit réaliste.

Les enquêtes ont montré que les doses reçues aux organes critiques, principalement les gonades, varient pour un même type d'examen dans des proportions considérables d'une installation à l'autre ou d'une institution à l'autre. Nous avons trouvé des différences de dose importantes atteignant un facteur 3 à 10 entre des installations d'un même type (radiophoto ou ampli de brillance). Sur des installations dentaires, des différences plus importantes encore sont fréquentes.

Les experts estiment que les doses peuvent être réduites d'un facteur 10 et cela sans faire appel nécessairement à des techniques sophistiquées.

L'irradiation intempestive du patient provient souvent de l'irradiation d'un volume-cible trop important provoquant éventuellement l'irradiation directe de l'organe critique et, en tout cas, une augmentation inutile de la dose de rayonnement diffusé ou d'une irradiation excessive dans le volume -cible.

Nous nous pencherons exclusivement sur ces deux aspects techniques qui sont d'une importance capitale et souvent encore négligés :
une bonne géométrie du faisceau utile, une maîtrise de la qualité et de la quantité de rayonnement en fonction de l'examen.

GEOMETRIE DE L'IRRADIATION.

Afin d'assurer une bonne géométrie, l'installation doit comporter des dispositifs limitant le faisceau utile tels que cônes interchangeables ou diaphragmes réglables. Il importe aussi de maintenir le patient à distance du tube par des dispositifs efficaces tels que cônes localisateurs, etc. Le repérage du faisceau utile doit être possible en l'absence de tout rayonnement : l'utilisation de dispositifs mécaniques ou, de préférence, d'un localisateur lumineux assure cette condition.

Le contrôle de l'installation comporte sur ces points les vérifications suivantes :

- distance minimum foyer-peau;
- fonctionnement du diaphragme et réglage correct des fins de course de manière à ne pas déborder du format utile;
- efficacité du diaphragme;
- absence de fuite;
- alignement correct du faisceau et du récepteur;
- repérage correct du faisceau.

En radioscopie, ces contrôles peuvent aisément être réalisés au moyen d'un petit écran fluorescent permettant de localiser le faisceau utile et les fuites éventuelles.

En radiographie, on aura recours à l'irradiation d'un film de contrôle qui révélera, après développement, l'existence de fuite ou un défaut de protection du diaphragme.

LA QUALITÉ ET QUANTITÉ DE RAYONNEMENT.

La qualité du rayonnement est déterminée par les caractéristiques des générateurs : haute tension appliquée au tube et par la filtration : une filtration minimum de 1,5 mm Al jusque 70 kV et 2 mm Al au-delà de 70 kV est nécessaire pour éliminer les composantes de basse énergie du spectre augmentant la dose au patient sans aucun bénéfice pour l'examen.

La quantité de rayonnement est, elle, déterminée par le produit du courant du tube par le temps de pose : mAs.

La technique que nous utilisons pour la vérification des caractéristiques du rayonnement est basée sur l'irradiation d'un film de contrôle en combinaison avec l'emploi d'un jeu d'écrans calibrés (pénétramètre). Par une mesure densitométrique du film sous plage nue et sous écran, on détermine la dose de rayonnement et la couche de demi-absorption. Ces valeurs sont comparées aux valeurs obtenues pour une installation correcte et permettent de mettre en évidence une dose excessive ou un rayonnement de mauvaise qualité (par exemple : trop peu filtré).

EVOLUTION DES EQUIPEMENTS RADIOLOGIQUES.

On assiste à une évolution rapide des équipements radiologiques qui tendent de plus en plus vers un automatisme

- conditions d'irradiations préprogrammées;
- limitation de la dose par automate d'exposition, etc.

Il en résulte une diminution du risque d'erreur humaine et, par conséquent, évite une répétition inutile de clichés ratés.

Mais la complexité des systèmes rend plus que jamais nécessaire un contrôle basé sur des mesures quantitatives. L'automatisme souvent ne permet plus de maîtriser les phénomènes : on travaille à l'aveugle. Un dérèglement d'un élément de la chaîne peut aggraver l'irradiation du patient sans que l'opérateur n'en prenne conscience.

Dans le cas de l'amplificateur de brillance, exemple simple, on constate qu'une diminution de la sensibilité de l'écran photosensible est corrigée par une augmentation du courant. On arrive à cette situation paradoxale où un ampli de brillance vieilli donne des doses par unité de temps supérieures à l'ancienne installation de scopie.

Des techniques nouvelles plus sensibles ont également vu le jour, telles que les écrans de terre rare, les nouveaux ampli de brillance avec écran d'iodure de césium, le traitement électronique de l'information avec mise en mémoire de l'image. Elles sont susceptibles d'apporter une réduction supplémentaire des doses.

BILAN DES CONTROLES.

Nous avons en 1972 exposé le premier bilan des contrôles des appareils à rayons X en vue de leur agrégation. Ce bilan portait sur 1563 installations examinées de février à septembre 1971.

Il faisait apparaître que plus d'un appareil sur 4 ne répondait pas aux normes.

Durant l'année 1976, sur un total de plus de 3500 installations examinées, on a dénombré une cinquantaine d'installations, soit $\sim 1,5 \%$, qui ne répondait pas à la norme. Encore faut-il préciser qu'il s'agit souvent d'appareils marginaux à faible taux d'utilisation.

On notera que certaines remarques, fréquentes autrefois, ont pratiquement disparu :

- filtration insuffisante ou manquante;
- réglage du diaphragme;
- rayonnement de fuite excessif;
- repérage du faisceau utile.

D'autres remarques sont devenues rares :

- réglage automatique du diaphragme couplé avec la dimension cassette;
- décentrage du faisceau par rapport à l'ampli de brillance.

Cette amélioration spectaculaire est due pour une part au remplacement des installations déclassées par des installations plus conformes à la réglementation, mais aussi à la mise en ordre progressive des installations en service.

Ce bilan est certes le résultat d'un effort collectif des utilisateurs et des fabricants de matériel de radiologie, mais il témoigne aussi du rôle positif joué par l'expert de contrôle physique.

Le développement que connaît la radiologie médicale au point de vue de la quantité d'examen et de la complication des installations justifie plus que jamais l'intervention de techniciens de la radioprotection pour

un contrôle quantitatif précis des sources de rayonnement et le maintien des installations dans des limites acceptables de fonctionnement.

SAMENVATTING

Wat het individu betreft, staat het resultaat van het onderzoek niet in verhouding tot het risico; voorrang moet worden gegeven aan de best mogelijke radiologische informatie. Wat de gemeenschap betreft, is het noodzakelijk elke ongelegen bestraling van de patiënt, welke een ontoelaatbare potentiële toename van genetische of lichamelijke last teweegbrengt, uit te schakelen.

Geconfronteerd met de eigenaardigheid van de beschermingstechnieken tegen de bestralingen, zijn de anglo-saksische landen reeds sedert lang overgegaan tot een meervoudige disciplinaire samenwerking tussen de arts en de radiologische veiligheidsfysicus. In België echter is deze samenwerking één van de taken van de deskundige voor fysische controle van de onderneming of van een privé organisme voor fysische controle.

Enkele resultaten van fysische controles die werden bekomen in de loop van de laatste tien jaar, worden hier toegelicht.

RESUME

Les doses reçues en moyenne aux gonades, à la moëlle et au foetus, organes les plus critiques, restent dans le domaine des doses faibles. On ne peut, cependant que souscrire sans réserve aux hypothèses prudentes de la Commission Internationale de Protection Radiologique, à savoir la linéarité de la relation dose-effet et l'absence de seuil.

Dans cette optique, les objectifs à atteindre sont :

1) Au niveau de l'individu, le bénéfice de l'examen est sans commune mesure avec le risque; la primauté doit rester à une information radiologique la meilleure possible.

2) Au niveau de la collectivité, il est indispensable d'éliminer toute irradiation intempestive du patient qui représente un accroissement potentiel insupportable de la charge génétique ou somatique. Ces objectifs ne peuvent être conciliés qu'en réduisant la dose au patient au strict nécessaire grâce à :

- un bon jugement clinique
- un équipement radiologique bien conçu et offrant une protection efficace
- une bonne technique de travail et un personnel formé
- une bonne interprétation de l'information.

Devant la complexité des problèmes technologiques liés à la radiologie médicale et la spécificité du problème contre les rayonnements, les pays anglo-saxons ont depuis longtemps mis en pratique une collaboration pluridisciplinaire du médecin et du physicien de sécurité (radiological safety officer).

Cette collaboration s'inscrit en Belgique dans la mission de l'expert de contrôle physique attaché à l'établissement ou à un organisme agréé privé de contrôle physique.

Quelques résultats des contrôles physiques effectués depuis une dizaine d'années sont mis en évidence.

ZUSAMMENFASSUNG

Auf dem Niveau des Einzelmenschen steht das Ergebnis der Untersuchung in keinem Verhältnis zu dem Risiko; einer best möglichen radiologischen Information soll den Vorrang gegeben werden. Auf dem Niveau der Gemeinschaft ist es unbedingt erforderlich jede ungelegene Bestrahlung des Patienten, welche eine unerträgliche potentielle Zunahme der genetischen oder körperlichen Last verursacht, zu beseitigen.

Konfrontiert mit der besonderen Eigentümlichkeit des Röntgenschutzproblems, haben die angelsächsischen Länder sich schon seit langem zu einer multidisziplinären Zusammenarbeit zwischen dem Arzt und dem Röntgensicherheitsphysiker entschlossen. In Belgien geschieht diese Zusammenarbeit aber im Auftrag des vom Unternehmen selbst abhängigen Sachverständigen für physische Kontrollen, oder von einem privaten Organismus für physische Kontrollen.

Einige Ergebnisse von in den letzten zehn Jahren vorgenommenen physischen Kontrollen werden hier weiter erläutert.

SUMMARY

At the level of the individual, the benefit from the examination is out of all proportion to the hazard involved; it should be primarily aimed at a best possible radiological information. At the level of the community, it is necessary to eliminate any undue irradiation of the patient, causing an unbearable potential increase of the genetic or somatic load.

Facing the specific problems of protection against radiation, the English-speaking countries have already since long initiated a multidisciplinary cooperation between the doctor and the radiological safety officer. In Belgium this cooperation either fits into the task of the physical control officer attached to the establishment itself, or is being ordered by a private organization for physical controls.

Some results of physical controls carried out during the past ten years are now being illustrated.

Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming Vol. 2 nr.1

DOSIMETRIE BIJ COMPUTER TOMOGRAFIE VAN DE ROMP.

P. SCHONKEN, G. MARCHAL, Y. COENEN, A.L. BAERT.

Dienst Radioprotectie van K.U. Leuven, De Croylaan, 54 Heverlee.

19 maart 1977.

De brede lagen van de bevolking worden bij allerlei röntgenonderzoeken aan ioniserende straling blootgesteld zonder dat meestal veel aandacht besteed wordt aan de dosissen die hierbij worden opgelopen en welke stralingsbelasting dit voor de patiënt meebrengt.

In deze studie wordt vooral aandacht besteed aan totale hoeveelheden geabsorbeerde energie en gonadendosissen bij onderzoeken die een rechtstreekse bestraling van het klein bekken noodzakelijk maken.

Enerzijds werden metingen verricht bij abdominaal bekkenonderzoek bij middel van een totaal-lichaams gecomputeriseerde axiale tomograaf.

Anderzijds werd ter vergelijking de Intra-Veneuze Pyelografie (I.V.P.) geselecteerd als een onderzoek van een klassiek type.

Alle metingen werden met LiF thermoluminescent dosimeters uitgevoerd.

Door in-vivo dosimetrie werden ingaande en uitgaande doses en mannelijke gonadendoses, rechtstreeks bepaald. Door middel van een rectaalsonde werden doses verkregen die representatief zijn voor de vrouwelijke gonadendosis. Bij metingen op fantoom werden isodosen verkregen die een correlatie mogelijk maken tussen de dosis in de rectaalsonde en de vrouwelijke gonadendosis.

Uit de resultaten blijkt dat, alhoewel de onderzoeken elkaar niet zonder meer kunnen vervangen, en zelfs in zekere mate complementair kunnen zijn, de opgelopen doses bij de computer axiale tomografie lager liggen dan bij het klassieke I.V.P. onderzoek.

A PROPOS D'UN CRITERE DE COMPARAISON DE L'IRRADIATION DU CRANE EXAMINE EN TOMOGRAPHIE AXIALE TRANSVERSE COMPUTERISEE (EMI SCANNER) ET PAR TECHNIQUES CONVENTIONNELLES.

J. GARSOU (Liège), M. COLLARD (Montignies-le Tilleul).

19 mars 1977

Introduction

Aux techniques actuellement appelées conventionnelles d'examen du crâne par faisceau fixe, entre autres angiographie carotidienne (A.C.) et pneumoencéphalographie gazeuse standard (P.S.), ou par faisceau mouvant, encéphalotomographie (E.T.) s'est ajoutée récemment, avec un essor fulgurant, la tomодensitométrie ou tomographie axiale transverse computerisée (TATC). Les distributions de doses absorbées qui résultent de ces techniques sont donc produites soit par combinaison d'irradiation par faisceaux fixes de diverses incidences (A.C., P.S.) soit par une irradiation mouvementée par un faisceau de section assez large : 595 cm^2 ($21,8 \times 27,3 \text{ cm}$) en E.T. ou $0,4 \text{ cm}^2$ ($0,74 \times 0,55 \text{ cm}$) en TATC, sections rapportées à 1 m de la source. Le critère de comparaison de la dose absorbée est difficile à préciser d'une façon simple :

1. La dose maximale à la peau est souvent prise comme référence. Si sa valeur absolue est importante, encore faut-il la pondérer par la surface du territoire cutané qu'elle concerne.
2. La distribution de la dose absorbée intéresse les organes internes d'une façon qui est rarement précisée. Une représentation simple de cette distribution n'est pas aisée. Si la dose maximale dépend de la quantité totale débitée de rayons X durant l'examen, la surface cutanée de dose maximale et la distribution interne de la dose absorbée dépendent de la section du faisceau de rayons X ainsi que du type de combinaison des faisceaux fixes ou de l'arc de déplacement du faisceau mouvant.

La dose intégrale absorbée, c'est-à-dire la somme de l'énergie absorbée par l'organe examiné, le crâne en l'occurrence, nous apparaît être un

paramètre digne d'intérêt dans la comparaison des doses conférées à cet organe par des techniques variées d'irradiation : son calcul en effet a intégré la distribution spatiale de la dose absorbée, tenant compte de la surface cutanée de dose maximale et de la quantité totale de rayons X délivrée.

Modalités expérimentales et résultats

Les conditions expérimentales d'applications des quatre techniques que nous comparons, les résultats de nos mesures de dose absorbée et du calcul de la dose intégrale absorbée sont réunies dans le tableau I.

Les doses ont été mesurées par des dosimètres thermoluminescents LiF Harshaw de $1/8 \times 1/8 \times 0,035$ " placés dans les tranches de la tête d'un fantôme humain Alderson Rando selon le schéma illustré par la figure 1.

La place nous manque pour montrer les nombreuses courbes isodoses que nous avons relevées, courbes dont la valeur ne serait qu'illustrative; elles rendraient compte évidemment de la meilleure homogénéité de la distribution interne de la dose conférée en TATC, homogénéité dont on peut se rendre compte par le rapport des doses maximale et minimale à la peau : les rapports sont de l'ordre de 13 en TATC, 80 en E.T., 48 en A.C. et 140 en P.S.

A distance du plan de coupe de TATC, la dose absorbée dans la zone centrale du crâne s'atténue de façon pratiquement exponentielle, une épaisseur de 4 cm atténuant de moitié la dose absorbée. (Fig. 2).

Conclusion

Si nous limitons notre comparaison à la dose maximale absorbée à la peau, elle est du même ordre en TATC et en A.C. et P.S.

La dose intégrale absorbée dans le cas de l'application de la TATC est nettement moins élevée que celle que l'on obtient en E.T., mettant également en oeuvre une irradiation mouvante, mais avec un faisceau plus large, elle est du même ordre de grandeur que celle qui résulte d'A.C. et P.S., techniques d'irradiation par champ fixe produit par des faisceaux plus larges.

TABLEAU I

	IRRADIATION MOUVEMENTÉE	DOSE ABSORBÉE (RAD)				DOSE INTEGRALE ABSORBÉE (G. RAD) LIMITEE A LA REGION CRANIENNE EXAMINEE
		MAXIMALE À LA PEAU	MOYENNE (RELATIVE À LA TRANCHE ENTIÈRE IRRADIÉE)	DANS LA ZONE CENTRALE	MINIMALE À LA PEAU	
3 COUPES { 120 kV - 33 mA 5 MIN/COUPE 0,4cm ² (=0,74x0,55 A 1m)	TATC	4	1,05	0,95	0,3	1.840
10 PROFIL { 60 kV - 240 mAs 5 FACE { 595cm ² (=21,8x27,3 A 1m)	E.T.	95	13,36	7,93	1,2	23.500
	IRRADIATION PAR CHAMP FIXE					
10 FACE 80 kV - 13 mAs { 10 PROFIL 75 kV - 16 mAs {	A.C.	3,5	0,79	0,39	0,075	1.380
6 FACE 90 kV - 16 mAs { 6 PROFIL 90 kV - 8 mAs {	P.S.	7	0,82	0,24	0,05	1.440
<p>- RÉPARTITION DE LA DOSE ABSORBÉE PLUS HOMOGÈNE DANS LE VOLUME IRRADIÉ EN TATC - DOSE MAXIMALE À LA PEAU DOIT ÊTRE PONDÉRÉE DE LA SURFACE PEAU AINSI CARACTÉRISÉE DE LA DOSE INTÉGRALE ABSORBÉE</p>						

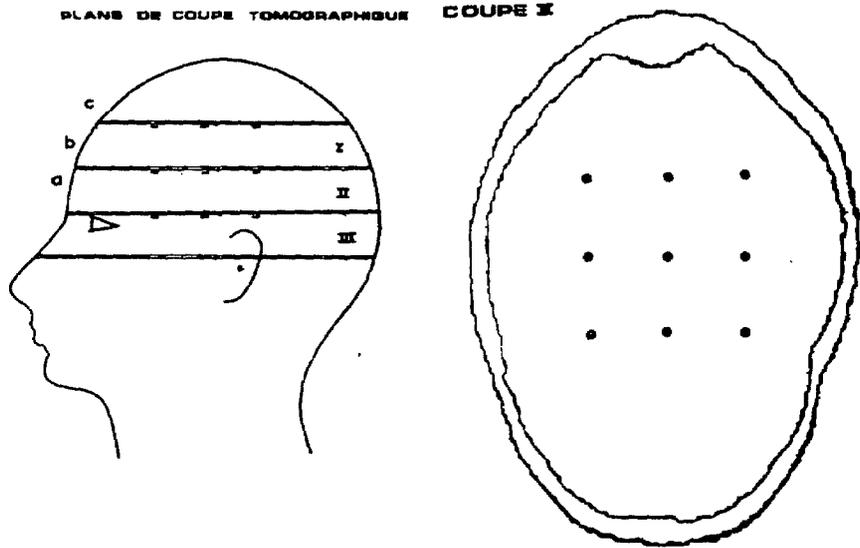


Fig. 1.

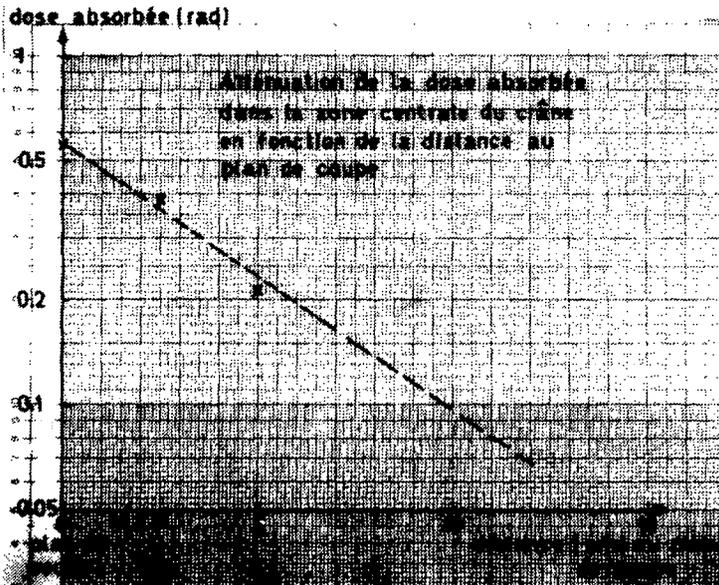


Fig. 2.

REFERENCES

- GARSOU J., COLLARD M., Dosimétrie comparée de la tomographie axiale transverse computérisée (TATC) et des explorations neuroradiologiques conventionnelles. J. Belge Radiol., 1975, 58, 5, 363-366.
- GARSOU J., COLLARD M., Détermination des critères adéquats pour la comparaison des doses reçues en tomodensitométrie et lors des explorations neuroradiologiques conventionnelles. J. Belge Radiol., 1976, 59, 3, 309-312.
- PERRY B.J., BRIDGES C., Computerized axial transverse scanning (tomography). Part 3 . Radiation dose considerations. Brit. J. Radiol. , 1973, 46, 1048-1051.

LES PROBLEMES DE RADIOPROTECTION LORS DES EXAMENS RADIOLOGIQUES DES
ROCHERS ET DU MASSIF FACIAL.

S. KLEINER⁺, F. HOTTON⁺, P. VAN ELEGEM⁺⁺.

⁺Service de Radiologie de l'Hôpital-St-Pierre à Bruxelles, Pr. A. BOLLAERT.

⁺⁺Service de Radioprotection de l'Université Libre de Bruxelles, Pr. S.
LEJEUNE.

Juin 1977.

RESUME.

Le recours aux tomographies en balayage complexe est plus en plus fréquent grâce à leur précision irremplaçable. Bien que le cristallin soit plus sensible aux radiations corpusculaires, il se comporte comme tout autre organe vis-à-vis des rayons X. Les premiers troubles observés aux cristallins correspondent à une dose de 200 rems délivrée en une fois. Les doses mesurées pour 13 clichés atteignent 16 rems pour un examen du rocher, et 23 rems dans le cas de la tomographie du massif facial. L'utilisation de coquilles de plomb réduit considérablement la dose et ne gêne pas les tomographies du rocher. Les doses absorbées aux cristallins sont donc largement inférieures aux doses susceptibles de provoquer une cataracte.

INTRODUCTION.

La recherche de la précision en radiologie du massif facial et des rochers entraîne un recours de plus en plus fréquent aux méthodes tomographiques en balayage complexe.

Parmi les organes touchés, le cristallin a retenu particulièrement l'attention des chercheurs en raison des apparitions de cataractes relatées dans la littérature. Le cristallin occupait jusqu'il y a peu un plan privilégié dans les textes juridiques portant règlements généraux de la protection contre les dangers des radiations ionisantes. En fait cette attention particulière n'est justifiée qu'en raison de la sensibilité des cristallins à certaines radiations corpusculaires. Vis-à-vis des radiations électromagnétiques seules utilisées en radiodiagnostic, le cristallin se comporte comme tout autre organe. Il ne peut être classé à cet égard sur le même pied que les organes hématopoïétiques ou les gonades.

Une autre raison d'inquiétude provenait de l'interprétation du mot "cataracte". Dans leurs travaux devenus classiques, MERRIAM et coll. (1) dénomment cataracte toute opacification cristallinienne, fût-elle asymptomati-

que et visible seulement à la lampe à fente par un ophtalmologue entraîné. Cette cataracte se développe pendant des années et le diagnostic différentiel n'est possible qu'au début de l'affection. En fait la première atteinte porte sur l'épithélium antérieur du cristallin dans la région pré-équatoriale. Les cellules touchées migrent vers les pôles du cristallin et y dégénèrent, ce qui explique l'existence d'un délai entre l'irradiation et l'apparition de la cataracte. L'étendue de la tache opaque définitive est fixée lors de l'irradiation initiale par le nombre de cellules touchées. Ce nombre n'augmentera pas en l'absence de nouvelle irradiation car l'affection n'est pas évolutive en elle-même.

Le temps mis pour le développement de l'opacification est inversement proportionnel à la dose. Une opacification objectivable est provoquée par une dose unique de 200 rems ou par 400 rems délivrés en plusieurs fois. Toutes les formes d'énergie ont le même mécanisme d'action, mais les neutrons présentent un coefficient d'"Efficacité Biologique Relative" de 4 à 30 fois plus élevé que celui des rayons X. Les enfants de moins d'un an sont dix fois plus sensibles que les adultes et leurs cataractes entraînent plus souvent la cécité.

MESURES DES DOSES ABSORBÉES AUX CRISTALLINS .

Les mesures sont réalisées avec des dosimètres thermoluminescents au fluorure de lithium incorporé dans du téflon et le lecteur 8300 de Teledyne Isotopes. Les dosimètres ont été placés sur patients et sur fantôme dans les incidences antéro-postérieure, de Guillen, de Stenvers, de Pöschl et de profil. Les tomographies sont effectuées en balayage spiral dans les conditions moyennes de 70 kV, 50 mA, 6 sec, 1,20 m de distance foyer-film, une filtration totale équivalente à 3 mm d'aluminium, et un diaphragme définissant une image de 6,5 cm de diamètre sur le cliché. L'étude tomographique du rocher nécessite généralement un cliché de centrage, suivi de 18 coupes pour l'incidence de profil, ou suivi de 12 coupes pour les autres incidences.

Etant donné le balayage complexe et l'ouverture restreinte du diaphragme, l'irradiation de la peau n'est pas du tout uniforme. Cette inhomogénéité et les différences de centrage provoquent une dispersion assez importante des doses absorbées aux cristallins, aussi ne présenterons nous que les moyennes des mesures. Le tableau I reprend les doses absorbées aux cristallins pour les différentes incidences envisagées.

Incidence	Oeil Visé mrem	Oeil Opposé mrem	Examen Bilatéral mrem
Antéro-postérieure	16.000	2.000	18.000
Guillen	15.000	6.000	21.000
Pöschl	10.000	2.200	12.200
Stenvers	500	20	520
Profil	110	50	160

Tableau I : Doses moyennes absorbées aux cristallins pour un examen complet (sans coquilles de protection).

L'examen comprend 19 clichés en incidence de profil et 13 clichés dans les autres cas. La dernière colonne concerne l'examen bilatéral et s'obtient simplement par sommation des deux colonnes précédentes.

Le tableau II montre les doses absorbées aux cristallins lorsqu'ils sont protégés par des coquilles de 2 mm de plomb.

Incidence	Oeil Visé mrem	Oeil Opposé mrem	Examen Bilatéral mrem
Antéro-postérieure	650	240	890
Guillen	550	300	850
Pöschl	500	300	800
Stenvers	110	15	125

Tableau II : Doses absorbées aux cristallins pour un examen complet. Avec protection par des coquilles de 2 mm de plomb.

Ces coquilles ne gênent pas les tomographies du rocher et apportent une réduction très importante des doses absorbées aux cristallins. Le facteur moyen de réduction atteint 23 dans le cas des deux yeux en incidence de Guillen, et dans le cas de l'oeil de visée dans les incidences antéro-postérieure et de Pöschl. Cette diminution de dose est beaucoup moins

marquée dans les autres cas du fait de la prépondérance du rayonnement diffusé par rapport au faisceau direct. Les coquilles n'ont pas été utilisées en incidence de profil parce qu'elles doivent être maintenues sur le patient et que les doses sont beaucoup plus faibles.

Il est également important de souligner l'importance de l'ouverture du diaphragme sur la distribution des doses. Les mesures reprises dans les tableaux correspondent à un faisceau direct de 6,5 cm de diamètre au niveau du cliché. Dans certains cas cliniques il est possible de réduire l'ouverture à 5 cm, et d'obtenir ainsi une réduction des doses absorbées aux cristallins d'un facteur voisin de 2.

Dans le cas de la tomographie du massif facial, réalisée à 70 kV, 20 mA et 6 sec, la dose à la peau est de 23 rems pour les 13 clichés. Les coquilles de plomb ne peuvent être utilisées pour cet examen du fait de la faible profondeur de coupe qui empêche leur effacement.

CONCLUSIONS .

Les doses mesurées, jusqu'à 21 rems pour une étude bilatérale des rochers, et de 23 rems pour l'étude du massif facial, ne sont donc pas négligeables, même si elles se situent en-dessous des doses capables de provoquer une opacification cristallinienne. L'emploi de protections oculaires est très efficace mais impossible dans les études du massif facial où elles provoquent une image ineffaçable par le balayage. On retiendra donc les précautions suivantes :

- justifier ces examens par l'importance des résultats attendus dans l'intérêt du patient
- ne pas effectuer ces examens chez des patients de moins d'un an sans indication formelle
- supprimer l'iconographie et la comparaison hétérolatérale pour des otites cliniquement limitées à une oreille
- ne pas multiplier les examens de contrôle à un rythme injustifié par la clinique
- réserver ces études aux équipes entraînées travaillant sur du matériel adéquat
- utiliser aux mieux les dispositifs de protection individuelle tels que coquilles de plomb ou lunettes en verre plombé
- limiter le champ irradié au minimum nécessaire au diagnostic.

Il ne faut pourtant pas hésiter à pratiquer ces examens dans l'incidence désirée lorsque l'indication de l'étude tomographique est correctement posée. La dose absorbée par le patient est inférieure aux valeurs capables de provoquer une cataracte, tandis que les données fournies au thérapeute sont irremplaçables.

REFERENCES.

1. MERRIAM G.R. et coll., Clinical study of radiation cataracts and relationship to dose. *Am. J. Roentgenol. Radium Ther. Nucl. Med.*, 1957 77, 759-785.
2. KROHMER J.S., Patient dose distributions during hypocycloïdal tomography. *Radiology*, 1972, 103, 447-450.
3. CHIN F.K., ANDERSON W.B., GILBERTSON J.D., Radiation dose to critical organs during petrous tomography. *Radiology*, 1970, 94, 623-627.
4. TESKE H.J., SCHMITT G., EWEN K., Messungen zur Strahlenexposition der Augenlinse bei Schädelaufnahmen, Schichtaufnahmen der Orbitae und der angrenzenden Bereiche sowie bei angiographischen Untersuchungen. *Radiologe*, 1972, 12, 420-424.
5. UPTON A.C. et coll., The relative biological effectiveness of neutrons, X-rays and gamma rays for the production of lens opacities : observations on mice, rats, guinea-pig and rabbits. *Radiology*, 1956, 67, 686.
6. VAN ELEGEM P., KLEINER S., HOTTON F., L'irradiation du patient lors de la tomographie du rocher. *Ann. Radiol.*, 1974, 17 (1), 33-35.

SAMENVATTING

Het gebruik van tomografieën met veelvuldige scanning neemt toe dankzij hun onvervangbare nauwkeurigheid. Alhoewel de ooglenzen gevoeliger is voor corpusculaire stralingen, gedraagt zij zich zoals een ander orgaan tegenover X-stralen. De eerste aandoeningen waargenomen ter hoogte van de ooglenzen komen overeen met een dosis van 200 rem gegeven in één blootstelling. De dosissen waargenomen voor 13 opnamen bereiken een waarde van 16 rem na een onderzoek van het rotsbeen en van 23 rem voor een tomografie van het aangezicht. Het gebruik van loodschelpen reduceert aanzienlijk de dosis en stoort de tomografie van het rotsbeen niet. De dosissen geabsorbeerd door de ooglenzen zijn dus duidelijk lager dan de dosissen die een cataract zouden veroorzaken.

RESUME

Le recours aux tomographies en balayage complexe est de plus en plus fréquent grâce à leur précision irremplaçable. Bien que le cristallin soit plus sensible aux radiations corpusculaires, il se comporte comme tout autre organe vis-à-vis des rayons X. Les premiers troubles observés aux cristallins correspondent à une dose de 200 rems délivrée en une fois. Les doses mesurées pour 13 clichés atteignent 16 rems pour un examen du rocher, et 23 rems dans le cas de la tomographie du massif facial. L'utilisation de coquilles de plomb réduit considérablement la dose et ne gêne pas les tomographies du rocher. Les doses absorbées aux cristallins sont donc largement inférieures aux doses susceptibles de provoquer une cataracte.

ABSTRACT

The use of tomographies with complex scanning increases because of their special precision. Although the eyelens is more sensitive for corpuscular irradiation, it reacts as every organ against X-rays. The first troubles observed in the eyelens correspond to a 200 rems dose given at once. Doses measured for a 13 pictures examination of the petrous bone reach 16 rems, and 23 rems for a faciestomography. The use of lead shells reduces considerably the dose and does not disturb the petrous bone tomographies. Doses absorbed at the eyelens are thus quite lower than the doses able to induce a cataract.

ETUDE DOSIMETRIQUE COMPARATIVE DE QUATRE SYSTEMES MAMMOGRAPHIQUES

CUKIERFAJN * et VAN ELEGEM **

* Service de Radiologie (Prof. Potvliege) et Centre de Sénologie de l'Hôpital Universitaire Brugmann (Prof. Vokaer et Dr. Loriaux).

** Service de Radioprotection (Prof. Lejeune) de l'Université Libre de Bruxelles.

Jun 1977.

RESUME.

La mammographie est une technique entraînant une irradiation relativement importante. Les doses à la peau obtenues avec des films à grains fins sans écran n'atteignent pas les doses considérées par certains auteurs comme pouvant être dangereuses mais n'en sont parfois pas éloignées. Parmi les méthodes testées dans cette étude, celle utilisant un écran renforçateur "terres rares" est la moins irradiante.

1) INTRODUCTION.

La mammographie est de plus en plus utilisée, elle demande en général de 2 à 3 clichés par sein. Une galactographie nécessite plus ou moins 6 clichés supplémentaires. Certaines patientes doivent subir des examens de contrôle pour des images douteuses ou après ponction-insufflation.

L'effet carcinogène des radiations sur le sein est connu depuis quelques années déjà. Mac Kenzie (1) Myrden et Hiltz (2) décrivent des cancers du sein développés chez les femmes ayant subi de nombreux contrôles radioscopiques pour des pneumothorax thérapeutiques. Mettler (3) observe une augmentation du taux de tumeurs bénignes et malignes chez des patientes suite à une radiothérapie pour mastite du post partum. Cette élévation était décelable à partir de 400 rad. Wanebo et coll. (4) étudiant les effets des bombardements atomiques de Nagasaki et d'Hiroshima trouvent que chez les femmes exposées à 90 rad et plus il se développait plus de cancers du sein que dans les populations témoins. Dans ce cas il s'agissait de rayons gamma et de neutrons.

Expérimentalement, Shellabargar (5) et son équipe, irradiant des rats in toto, trouvent déjà à partir de 25 rad une augmentation du taux de cancers mammaires. Les auteurs ne connaissent pas l'effet possible en-dessous de cette dose.

L'estimation de l'irradiation à partir de laquelle un cancer mammaire peut être induit chez la femme varie suivant les auteurs. Young (6) reprenant certaines études citées plus haut, obtient des chiffres variant de 100 à 3000 rad. Tamplin et Gofman (7) estiment la dose de doublement de l'incidence spontanée de cancer du sein à 20 rad dans l'étude de Wanebo, et de 20 à 50 rad dans celle de Mac Kenzie.

Nous nous sommes limités à faire une étude dosimétrique comparative sur patientes de quelques systèmes couramment utilisés en radiographie mammaire afin de préciser les doses à la peau atteintes (*) et les méthodes les moins irradiantes.

2) METHODE DE TRAVAIL.

Les systèmes testés sont les suivants :

- film à grains fins sans écran (Kodak PE 4006)
- film à 1 seule face émulsionnée avec écran renforceur en tungstate de calcium (Lo-Dose Cronex Dupont)
- film à grains fins avec écran "terres rares" à base d'oxybromure de lanthane et terbium (Gevaert mamoray RP3 + écran MR 50)
- xéromammographie.

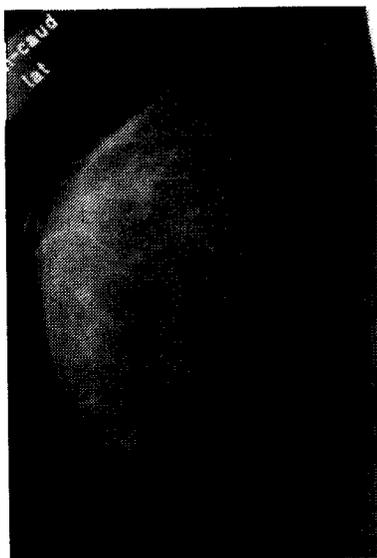
Le mammographe utilisé est le Diagnost M de Philips (anode en molybdène, fenêtre en béryllium, filtration de la gaine en molybdène). Les mammographies de cette étude ont été effectuées à 28 kV (nous en examinerons les raisons dans le paragraphe suivant) sans filtration supplémentaire.

Les xéromammographies ont été faites à 40 kV avec un filtre additionnel de 1 mm d'aluminium. La distance foyer-film est de 40 cm. Les films ont été traités en 90 secondes dans une développeuse automatique (Kodak RP-X-OMAT Processor).

La plupart des clichés ont été faits à la cellule, quelques uns avec des conditions manuelles. Nous avons éliminé les résultats des examens sur ou sous-exposés.

Les mesures n'ont été faites que sur des patientes venant pour dépistage et dont l'examen physique était négatif. Les doses envisagées ici ont été prises sur des incidences de face, toutefois, nos mesures ont montré qu'elles étaient pratiquement identiques de profil.

(*) La dose gonade est très faible en mammographie. Des dosimètres que nous avons placés au niveau du nombril de patientes ayant des mammographies avec film sans écran, méthode la plus irradiante, n'ont montré que le bruit de fond (< 10 mrad) pour 10 clichés/dosimètre.



Les dosimètres thermoluminescents placés entre le compresseur et le sein sont en fluorure de lithium incorporé dans du téflon. Ils se présentent sous forme de pastilles de 9 mm de diamètre et de 0,4 mm d'épaisseur. Etant radio-transparents, ils ne perturbent pratiquement pas l'interprétation du cliché (fig. 1); il suffit de signaler leur présence dans le protocole. Les mesures ont été effectuées avec un lecteur 8300 de Teledyne Isotopes.

Fig. 1 - Mammographie avec dosimètre thermoluminescent.

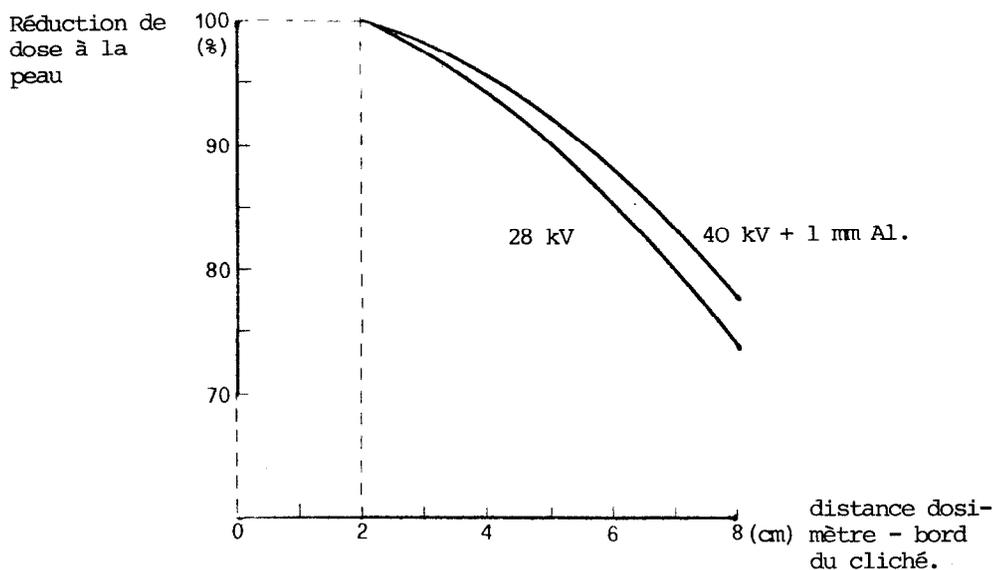


Fig. 2 - Pourcentage de diminution de dose (réf. à 2 cm) en fonction de la distance dosimètre - bord du cliché (\approx paroi thoracique).

La dose variant en fonction de la distance entre le dosimètre et la paroi thoracique par l'effet talon et la diffusion, nous avons établi sur fantôme le pourcentage de diminution de dose en fonction de la distance entre la projection du dosimètre et le bord du cliché (fig. 2). Ce fantôme est constitué par des plaques en plexiglas d'une épaisseur totale de 4,5 cm. Quelques mesures effectuées sur patientes ont montré que les courbes sont superposables aux précédentes.

Les courbes de la fig. 2 permettent un positionnement rapide du dosimètre sur la patiente suivi d'une correction aisée pour ramener toutes les mesures à une distance de référence de 2 cm. Compte tenu du fait que ces courbes sont pratiquement horizontales à cette distance, la petite différence entre les distances paroi-dosimètre et paroi-projection du dosimètre ne joue plus. Cette référence de 2 cm a été choisie comme étant la plus proche de la paroi sans risquer l'influence des effets de bord du faisceau sur la mesure.

3) RESULTATS OBTENUS.

La diminution de l'irradiation en fonction de l'augmentation de la tension est présentée au tableau 1. Celui-ci a été établi chez des patientes ayant subi une mammographie bilatérale selon une même technique mais à des tensions différentes pour chaque sein.

<u>Changement de tension</u>	<u>Facteur de réduction</u>
de 25 à 28 kV (7 patientes)	1,6
de 28 à 31 kV (4 patientes)	1,2

Tableau 1 - Diminution de la dose à la peau en fonction de l'augmentation de la tension.

Compte tenu du rapport qualité du cliché/irradiation presque tous nos clichés se font à 28 kV, les doses présentées ici ont été enregistrées uniquement avec ces conditions, excepté en xéromammographie.

Rappelons que la dose à la peau correspond à l'irradiation maximum reçue à l'entrée de l'organe. A 28 kV, les tissus à la sortie du sein n'absorbent qu'environ 2 % de la dose à la peau (19 patientes), cette quantité s'élevant à 4 % à 40 kV en xéromammographie (8 patientes). Notons que les écrans renforçateurs contrebalancent la petite perte de contraste résultant du passage de 25 à 28 kV.

Le tableau II donne l'ordre de grandeur des doses pour les diverses méthodes :

Systèmes	Nombre patientes	Dose moyenne	Ecart
mammographie sans écran	16	15.000	3.500 à 25.000
mammographie avec écran classique	23	4.500	1.400 à 5.500
mammographie avec écran "terres rares"	24	1.600	700 à 3.000
xéromammographie	4	7.500	6.500 à 8.500

Tableau II - Doses à la peau en mrad à 2 cm de distance de la paroi thoracique (mammographie à 28 kV, xéromammographie à 40 kV).

On notera les grands écarts d'irradiation pour une même technique. Ceci dépendant de la taille des seins et de leur densité. La dose de 25 rad observée parfois sans écran renforçateur n'est pas exceptionnelle et a été atteinte par plusieurs de nos patientes.

Les moyennes des réductions de l'irradiation suivant le changement de technique sont données dans le tableau III.

Modifications de technique	Nombre patientes	Facteur de réduction des doses
film sans écran → film avec écran classique	7	4,5
film avec écran classique → film avec écran "terres rares"	9	3
film sans écran → film avec écran "terres rares"	(7+9)	13 (a)
mammographie sans écran → xéromammographie	3	2 à 3(b)

Tableau III - Diminution des doses en fonction du changement de technique (mammographie à 28 kV, xéromammographie à 40 kV).

- (a) Le chiffre de diminution de dose film sans écran \rightarrow film avec écran "terres rares", provient simplement du produit des deux facteurs de réduction précédents ($4,5 \times 3 \approx 13$). En effet, au début de l'utilisation des "terres rares" nous avons déjà généralisé l'emploi de l'écran classique et une éventuelle réutilisation des films sans écran, plus irradiants, uniquement pour effectuer des comparaisons ne nous paraissait déontologiquement plus défendable.
- (b) Le facteur de réduction des doses pour la xéromammographie est assez imprécis : en effet, dans cette technique les conditions sont manuelles et, la latitude de pose étant relativement importante, tous nos clichés sont pratiquement faits avec les mêmes conditions. Dans notre expérience, des xéromammographies effectuées à plus haut kilovoltage donnent des clichés de qualité insuffisante.

On notera que les rapports des moyennes citées dans le tableau II diffèrent légèrement des chiffres du tableau III. En effet, ce dernier n'a été établi que sur les résultats de patientes ayant eu une technique d'examen différente pour chaque sein, alors que pour le calcul des moyennes nous avons ajouté le résultat de patientes examinées par une seule technique. Nous avons par ailleurs effectué des mesures avec des dosimètres placés sur les régions mammaires situées à 90° par rapport au faisceau direct (10 patientes). Elles montrent que la dose peau à cet endroit est égale à 30 % de celle mesurée directement dans le rayon principal. Par conséquent, un examen face-profil délivrera une dose peau de 1,3 fois celle d'un seul cliché.

4) DISCUSSION ET CONCLUSIONS.

L'étude radiologique du sein reste pour l'instant l'un des examens de base en clinique mammaire. Il convient d'insister toutefois sur le fait que les doses à la peau ainsi délivrées sont relativement fortes. Nous estimons que, compte tenu de la qualité des clichés obtenus avec des écrans renforceurs "terres rares" dans une pochette sous vide et de la diminution de dose en résultant, leur emploi est fortement à conseiller. Par ailleurs, dans notre expérience, la xéromammographie se justifie dans de rares cas comme un examen complémentaire.

La dose considérée comme non dangereuse pour un examen de dépistage du sein a été estimée par Ellis (8) à moins de 2 rad/examen. Seuls les écrans renforcateurs, surtout ceux aux terres rares, permettent généralement de ne pas dépasser cette limite. Il faut noter que des campagnes de dépistage avec un seul cliché par sein en incidence oblique (9) semblent aussi donner de bons résultats.

REFERENCES.

1. MAC KENZIE - Breast cancer following multiple fluoroscopies -
British Journal of Cancer, 19, (1965), 1-8.
 2. MYRDEN, HILZ - Breast cancer following multiple fluoroscopies during
artificial pneumothorax treatment of pulmonary tuberculosis -
The Canadian Medical Association Journal 100, (1969), 1032.
 3. METTLER - Breast neoplasms in women treated with X-ray for acute post
partum mastitis.
Journal of the National Cancer Institute 43 (1969), 803-811.
 4. WANEBO, JOHNSON, SATO - THORSLUND - Breastcancer after exposure to the
atomic bombings of Hiroshima and Nagasaki.
The New England Journal of Medicine 279 (1968), 667-671.
 5. SHELLABARGAR, CRONKITE, BOND, LIPPINCOTTE - Studies on radiation indu-
ced mammary gland neoplasm in the rat.
RAD. RES. 12, 276-285.
 6. YOUNG - Techniques and radiation in mammography.
British Journal of Radiology 47 (1974), 811-815.
 7. TAMPLIN, GOFMAN - Radiation induced breast.
Cancer-Lancet (1970), 1 - 297.
 8. ELLIS - Radiation induced cancer - the present position.
British Journal of Radiology (1972), 45-795.
 9. LUNDGREN, JAKOBSEN - Single view mammography.
Cancer (1976) 38 - 1,124 - 1,129.
-

SAMENVATTING

Mammografie is een techniek die een relatief zware bestraling met zich meebrengt.

De huiddosissen verkregen met fijn gekorrelde filmen zonder scherm bereiken de dosissen niet die door bepaalde auteurs als gevaarlijk kunnen beschouwd worden, maar wijken er dikwijls niet ver van af.

Onder de hier geteste methoden, is deze die een "zeldzame aarden" versterkt scherm gebruikt de minst bestralende.

RESUME

La mammographie est une technique entraînant une irradiation relativement importante. Les doses à la peau obtenues avec des films à grains fins sans écran n'atteignent pas les doses considérées par certains auteurs comme pouvant être dangereuses mais n'en sont parfois pas éloignées. Parmi les méthodes testées dans cette étude, celle utilisant un écran renforceur "terres rares" est la moins irradiante.

ABSTRACT

Mammography is a relatively high irradiating technique. Skin doses obtained with thin granulation films without screen do not reach these doses which are considered by some authors as possibly dangerous but are sometimes not far from these. Between the methods tested in this study, the method using a "rare earths" intensifying screen is the less irradiating one.