

ISSN - 0250 - 5010

ANNALEN  
VAN  
DE BELGISCHE VERENIGING  
VOOR  
STRALINGSBESCHERMING

---

---

VOL. 27, N°4, 2002,

1e trim. 2003

**Stralingsbescherming en kwaliteitszorg in de medische sector**  
**Radioprotection et assurance de qualité dans le secteur médical**

Driemaandelijkse periodiek  
2400 MOL 1

Périodique trimestriel  
2400 MOL 1

---

---

ANNALES  
DE  
L'ASSOCIATION BELGE  
DE  
RADIOPROTECTION

Hoofdredacteur

Mr C. Steinkuhler  
Rue de la Station 15  
B- 1325 Longueville

Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. Stiévenart  
Av. Armand Huysmans 206, bte 10  
B- 1050 Bruxelles - Brussel

Secrétaire de Rédaction

Publikatie van teksten in de Annales  
gebeurt onder volledige verantwoorde-  
lijkheid van de auteurs.

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

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

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

Ce numéro contient les textes d'exposés présentés lors de la réunion organisée par l'Association belge de Radioprotection à Bruxelles, le 18 octobre 2002, consacrée à

Dit nummer bevat de teksten van de uiteenzettingen gedaan ter gelegenheid van de vergadering van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming in Brussel, op 18 oktober 2002 gewijd aan

**Stralingsbescherming en kwaliteitszorg in de medische sector  
Radioprotection et assurance de qualité dans le secteur médical**

**SOMMAIRE**

**INHOUD**

Introduction - Inleiding	171
<b>E. DE GEEST</b> Practical aspects of quality assurance and radiological protection in nuclear medicine	173
<b>K. BACHER</b> Towards individual patient dosimetry in metabolic radiotherapy	183
<b>B. SCHAEKEN, B. DE OST, E. MESSENS, J. VANREGEMORTER, D. VAN den WEYNGAERT</b> Kwaliteitsbewaking in de radiotherapie: een overzicht	191
<b>K. BACHER</b> Image quality in correlation with patient dose in radiology	215
<b>H. ENGELS, L. VAN BLADEL</b> Stralingsbescherming bij medische toepassingen: regelgeving en kwaliteitsbewaking vanuit het FANC	223

## **Stralingsbescherming en kwaliteitszorg in de medische sector**

Met deze studienamiddag wenst de BVS te illustreren hoe aandacht voor de kwaliteitszorg kan bijdragen tot een betere stralingsbescherming van patiënt en verzorgend personeel. Kwaliteitszorg moet niet, zoals dikwijls het geval is, vereenzelvigd worden met extra papierwerk. Het is eerder een ingesteldheid in de aanpak van het werk, gericht op voorbereiding, toezicht, evaluatie en informatieuitwisseling.

De geselecteerde voordrachten geven zowel een algemeen beeld van de verwachtingen in kwaliteitsverzekering in de medische sector, als meer praktische methodes om door verbetering van de kwaliteit ALARA-doelstellingen te bewerkstelligen.

## **Radioprotection et assurance qualité dans le secteur médical**

Par cette demi-journée d'étude l'ABR souhaite illustrer comment une meilleure assurance qualité peut contribuer à la radioprotection des patients et du personnel soignant. L'assurance qualité ne doit pas être assimilée, comme c'est souvent le cas, à plus de papier. C'est plutôt une approche générale du travail, orientée vers la préparation, le suivi, l'évaluation et l'échange d'information.

Les présentations choisies donnent tant une image des attentes en assurance qualité dans le secteur médical, que des méthodes plus pratiques pour atteindre des objectifs ALARA par une amélioration de la qualité.

## **PRACTICAL ASPECTS OF QUALITY ASSURANCE AND RADIOLOGICAL PROTECTION IN NUCLEAR MEDICINE, WORKGROUP BSNM**

**E. De Geest, workgroup BSNM**

AV Controlatom, Koningslaan 157, 1190 Brussel; edegeest@aib-vincotte.be.

### **Abstract**

The task group 'Radiation protection' of the Belgian Association of Nuclear Medicine was created in 2001. Members are experts in different subject matters such as medicine, radiation physics, physical control. The objective is to analyse the problems encountered- and questions raised, in the day-to-day practice. The stress is put on the achievement of high-level radiation protection for the patients as well as for the nuclear workers. Information sheets with practical hints and more basic background information are available on the web.

The already treated subjects are presented:

A 'Belgian Guidelines for the Reference Administered Activities

Guidelines for the doses to be administered for various examinations were elaborated. The aim was to reach a harmonisation as in the neighbouring states. The starting point has been a study made in 19 Belgian institutions of different size and main activity. Results have been confronted with the national guidelines in force in the neighbouring countries. The proposal was then submitted to a variety of professional and involved groups and eventually finalised. In a further move the list will be amended for the prescribing practitioner to include the main indication, the effective dose, etc. The third tier will provide absorbed and effective doses per organ and per treatment (in progress).

B Practical hints for the waste management.

C Information sheets for the patient about nuclear medicine, the treatment they undergo and radiation protection.

D Information leaves for the practitioner related to pregnant women.

The workgroup 'radiological protection' of the Belgian Society for Nuclear Medicine started its activities at the end of 2001 and consists of professionals in different areas : physicians, medical physicists and health physicists. The goal is to study in detail all kind of questions and problems related to the day to day practise. The practical implementation of a qualitative radiological protection for the nuclear worker aswell as for the patient is the main concern. Leaflets and tabels with practical approaches and background information are presented at the website ([www.belnuc.be](http://www.belnuc.be)) and at scientific meetings.

This text presents the work in progress for the subjects treated by the workgroup in 2002:

A. "Guidelines for the Reference Administered Activities"

The Medical Exposure Directive (Ref. 2) requires the Member states of the European Union to establish reference levels for diagnostic examinations. Due to the implementation of these recommendations in the Belgian national legislation and the need to harmonise within Belgium, guidelines for reference administered activities of different examinations were made.

The work is based on a multicentre study in Belgium (Ref. 1). The results were compared in an international context (Ref. 3) and a proposal was submitted for approval to local groups of

physicians and the Health Counsel. The first list contains the approved version of the guidelines for reference administered activities and is presented below.

The second part is a list for the referring physicians on which the name of the examination, the tracer, the main indications and the effective dose for the reference administered activity are indicated.

The third part is intended for the nuclear physician. For each examination the reference activity, the effective dose (Ref. 4) and the absorbed dose for the three most exposed organs are listed.

The three lists can be downloaded from the website : [www.belnuc.be](http://www.belnuc.be)

## Belgian Society for Nuclear Medicine

### Guidelines for the Reference Administered Activities

#### Important instructions for use:

This table shows the typical reference administered activities for diagnostic nuclear medicine procedures.

**Reference activity** Guidelines for a typical adult (male, 70kg). Variations from these guidelines should always be justified on the basis of specific techniques (e.g. SPECT vs planar) or patients' needs.

**Maximum** These values should normally not be exceeded

**Minimum** Minimum activities are for children and based on 10 % of the adult dose or on EANM Paediatric task group guidelines, whichever is higher.

<i>System</i>	<i>Tracer</i>	<i>Reference activities</i>	<i>Maximum</i>	<i>Minimum</i>
		<i>MBq (~mCi)</i>	<i>MBq (~mCi)</i>	<i>MBq (~mCi)</i>
<b>Osteo-articular</b>				
<b>Bone</b>	Tc-99m-HDP/MDP	740 (20)	925 (25)	70 (2)
<b>Perfusion</b>	Tc-99m-Albumin	220 (6)	370 (10)	55 (1.5)
<b>Endocrinology</b>				
<b>Thyroid</b>	Tc-99m-Pertechnetate	110 (3)	200 (5.5)	20 (0.5)
	I-123	40 (1)	50 (1.3)	5 (0.13)
	Thyroid Cancer (I-131)	110 (3)	370 (10)	20 (0.5)
<b>Parathyroid</b>	Thallium (Tl-201)	70 (2)	110 (3)	16 (0.4)
	Tc-99m-agent	740 (20)	900 (24)	95 (2.5)
<b>Adrenals</b>	I-123-MIBG	185 (5)	260 (7)	30 (0.8)
	I-131-MIBG	40 (1)	80 (2)	20 (0.5)
<b>Tumor detection</b>				
<b>Breast</b>	Tc-99m-agent	740 (20)	900 (24)	NA
<b>Gallium</b>	67-Ga-Citrate	220 (6)	370 (10)	30 (0.8)
<b>Octreotide</b>	In-111-Octreotide	220 (6)	220 (6)	30 (0.8)
<b>FDG</b>	F-18-FDG	260 (7)	370 (10)	70 (2)

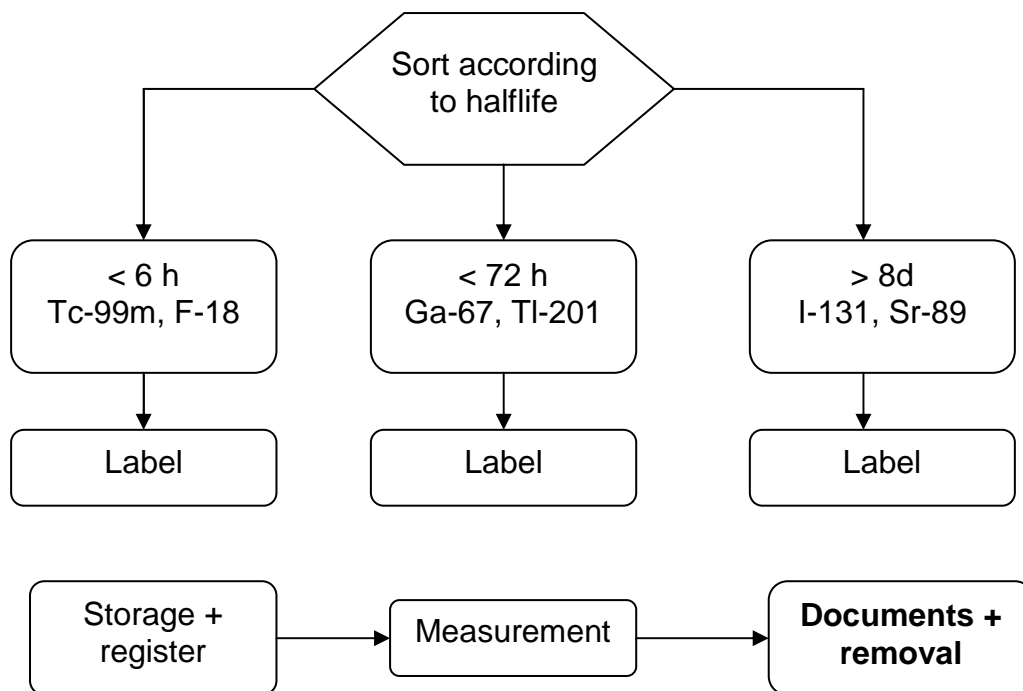
<b>Lung</b>				
<b>Lung Perfusion</b>	Tc-99m-MAA	110 (3)	220 (6)	20 (0.5)
<b>Brain</b>				
<b>Perfusion</b>	Tc-99m-agent	740 (20)	1110 (30)	140 (3.7)
<b>Cisterno</b>	In-111-DTPA	20 (0.5)	40 (1)	3 (0.1)
<b>Uro-genital</b>				
<b>Renal</b>				
<b>DMSA</b>	Tc-99m-DMSA	150 (4)	185 (5)	11 (0.3)
<b>DTPA</b>	Tc-99m-DTPA	185 (5)	250 (6.8)	40 (1)
<b>MAG3</b>	Tc-99m-MAG3	70 (2)	200 (5.5)	15 (0.4)
<b>VUR</b>	Tc-99m-DTPA	7 (0.2)	40 (1)	3 (0.1)
<b>Gastro-Enterology</b>				
<b>Gastric Emptying / reflux</b>	Tc-99m-colloid	40 (1)	55 (1.5)	15 (0.4)
<b>Bleeding</b>	Red Cells/Tc-99m-Alb	740 (20)	925 (25)	125 (3.5)
<b>Meckel</b>	Pertechnetate	185 (5)	260 (7)	40 (1)
<b>Liver</b>	Tc-99m-colloid	185 (5)	260 (7)	40 (1)
<b>Galbladder</b>	Tc-99m-iminodiacetate	70 (2)	185 (5)	25 (0.7)
<b>Salivary Glands</b>	Pertechnetate	110 (3)	200 (5.5)	20 (0.5)
<b>Heart</b>				
<b>Perfusion</b>	Thallium (Tl-201)*	150 (4)	150 (4)	15 (0.4)
	Tc-99m-agent (1 day)**	S 300 (8) / R 900 (24)	S 300 (8) / R 900 (24)	125 (3.5)
	Tc-99m-agent (2 days)**	S 900 (24) / R 900 (24)	S 900 (24) / R 900 (24)	125 (3.5)
<b>Ventricular function</b>	Tc-99m-agent	740 (20)	925 (25)	125 (3.5)
<b>Infection /inflammation</b>				
<b>Immunoglobulins</b>	Tc-99m-HIG	370 (10)	555 (15)	55 (1.5)
<b>White Blood Cells</b>	White Cells/HMPAO	550 (15)	740 (20)	80 (2)
<b>White Blood Cells</b>	In-111-oxinate	20 (0.5)	40 (1)	9 (0.3)
<b>Nanocolloid</b>	Tc-99m-nanocolloid	370 (10)	740 (20)	60 (1.5)
<b>*: including reinjection **: S and R denote stress and rest respectively</b>				
<b>For obese patients dosages can be adapted.</b>				
<b>For children the EANM task group table must be followed.</b>				
<b>These guidelines have been approved by the workgroup Nuclear Medicine of the Health Council (CSH/HGR)</b>				



## B Waste treatment in the nuclear medicine department

The work concerning the treatment of radioactive waste in the nuclear medicine department is divided in 2 parts.

The first is a flowchart where the way to sort, store and evacuate the waste is schematically explained. A short version is shown below :



The second part gives hints for a practical approach : How to collect and to store the radioactive waste, how to keep a waste register, what to do with hospitalised patients (and what if they are incontinent), ...

The leaflets can be downloaded from the website : [www.belnuc.be](http://www.belnuc.be)

## C Information concerning pregnant and breastfeeding patients

As a result of the survey of the nuclear physicians attitude towards pregnant or breastfeeding patient (Ref. 5) guidelines about how to deal with this problem were elaborated. They consist of a theoretical basis followed by a question – answer.

A summary of the leaflets is presented.

### **Preliminaries**

- The justification and optimisation principles must be kept in mind. More than in any other patient, the indication of the procedure should be weighed and the benefit to the mother should largely outweigh the potential inconvenience (e.g. for the diagnosis of PE). Alternative diagnostic procedure(s), especially with non-ionising techniques should be discussed (remember the complete abandon of placental scintigraphy since the availability of ultrasound!). In addition, every effort should be made to reduce the administered activity, hence the absorbed dose to the embryo. This may lead to procedures longer than the usual duration.
- It must be kept in mind that every patient of childbearing age should be carefully interviewed before any nuclear medicine procedure. Care should be taken with patients under oral contraception or intrauterine devices, by explicitly asking for the date of the last period. If any doubt persists, a pregnancy test is strongly recommended before administration of a diagnostic dose and mandatory before a therapeutic dose.
- It is a legal obligation to clearly identify any controlled and protected zone, to post appropriate caution marks and to warn attending patients about a potential pregnancy and about the importance of informing the physician prior to any procedure.

### **Radiobiological basis**

- Two weeks after conception: major risk of embryo resorption, followed by carcinogenesis
- 2-8 weeks: risk of congenital malformation followed by carcinogenesis
- 8-15 (25) weeks: risk of mental retardation, followed by carcinogenesis
- 25 weeks: risk of carcinogenesis

### **Followed by 4 questions**

- What to do if you have a query for a nuclear medicine procedure in a pregnant woman?
- What to do if a nuclear medicine procedure was performed in a pregnant woman?
- Breastfeeding, what to do?
- Is it necessary to advise limiting close contacts between parents and their children if one of them had a nuclear medicine test?

The leaflets can be downloaded from the website : [www.belnuc.be](http://www.belnuc.be)

### **References :**

- 1 De Geest, E; *A multicenter study of the administered activity in nuclear medicine departments in Belgium*. Oral presentation, EANM, Vienna, Austria, 2002
- 2 European Commission. *Council Directive 97 97/43/EURATOM*. Official J.European Communities; 1997.
- 3 European Commission. Radiation Protection 109. *Guidance on diagnostic reference levels (DRLs) for medical exposures*; 1999
- 4 International Commission on Radiological Protection. *Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. Addendum 2 to ICRP Publication 53*. ICRP publication 80, Ann. ICRP 28 (3); 1998
- 5 Sand, A.; *Scintigraphic examinations during pregnancy : a survey of Belgian nuclear medicine physician's attitudes*. Poster, EANM, Vienna, Austria, 2002

## Samenvatting

### Praktische kwaliteitsbeheersing en stralingsbescherming in de nucleaire geneeskunde, werkgroep BGNG

De werkgroep “stralingsbescherming” van het Belgische Genootschap voor Nucleaire Geneeskunde werd eind 2001 opgericht. De werkgroep bestaat uit deskundigen op verschillende vlakken : artsen, stralingsfysici en deskundigen fysische controle, en heeft als doel problemen of vragen uit de dagdagelijkse praktijk meer in detail te bestuderen. Het accent ligt op de praktische invulling van een kwaliteitsvolle stralingsbescherming voor zowel de patiënt als voor de nucleaire werkers. Infoblaadjes met praktische tips of meer achtergrond informatie worden verspreid via de website.

De reeds behandelde onderwerpen zullen worden voorgesteld :

A “*Belgian Guidelines for the Reference Administered Activities*”

Richtlijnen voor de toe te dienen activiteiten voor verschillende onderzoeken werden opgesteld. Het doel bestaat erin om tot een harmonisatie te komen zoals in de ons omringende buurlanden.

Er werd vertrokken van een anonieme studie in België in 19 diensten nucleaire geneeskunde van verschillende omvang en met verschillende zwaartepunten. De resultaten werden vergeleken met nationale richtlijnen van de ons omringende buurlanden. Het voorstel uit de werkgroep werd vervolgens voorgelegd aan de ‘Lok-groepen’ en andere vakgroepen (bv. Hoge Gezondheidsraad) en gefinaliseerd.

In een 2<sup>de</sup> luik zal er een aanvulling van deze lijst worden voorgesteld voor de voorschrijvende arts. Hierin zullen de voornaamste indicatie, effectieve dosis, ... worden opgenomen. In een 3<sup>de</sup> luik zal een beeld worden gegeven van de effectieve dosis en de geabsorbeerde dosis per orgaan per onderzoek. (in progress)

B Praktische tips voor afvalbeheer

C Infoblaadjes voor de patiënt in verband met nucleaire geneeskunde, hun onderzoek en stralingsbescherming

D Infoblaadjes voor de arts in verband met zwangere patiënten

## Résumé

### Aspects pratiques de l'assurance de qualité et de la radioprotection en médecine nucléaire.

#### Groupe de travail ABMN.

L'association belge de médecine nucléaire a constitué un groupe de travail en 2001. Il compte des experts dans divers domaines: des médecins, des physiciens des radiations, des physiciens agréés, chargés du contrôle, etc. Il a pour objectif de procéder à une analyse fouillée des problèmes rencontrés dans la pratique de la routine journalière. L'accent est posé sur l'obtention d'une protection contre les radiation de qualité élevée pour les patients comme pour les travailleurs nucléaires. Le groupe rédige des feuilles d'information, disponibles sur le web, qui contiennent des indications pratiques et des informations ayant un caractère plus fondamental.

Les sujets déjà traités sont présentés:

A 'Belgian guidelines for Reference Administered Activities'

Ces directives concerne les doses à administrer pour différents traitements. Le but a été de réaliser une harmonisation semblable à celle existant déjà dans les pays voisins. Le point de départ a été une étude anonyme réalisée dans 19 institutions d'importance et d'activité différentes. Les résultats obtenus ont été comparés aux directives nationales en vigueur dans ces pays. La proposition a été soumise ensuite à différents groupes intéressés ou directement impliqués avant la rédaction finale. Dans une prochaine étape, à destination des médecins prescripteurs, la liste sera complétée en y incluant les indications et les doses effectives, etc. Le troisième volet donnera les doses absorbées et les doses effectives, par organe et par traitement.

B Conseils pratiques pour la gestion des déchets

C Feuilles d'information pour le patient traitant de la médecine nucléaire, du traitement subi et de la radioprotection.

D Feuilles d'information pour le médecin concernant les femmes enceintes

## **TOWARDS INDIVIDUAL PATIENT DOSIMETRY IN METABOLIC RADIOTHERAPY**

**Klaus Bacher<sup>1</sup>, Myriam Monsieurs<sup>1</sup>, Bieke Lambert<sup>2</sup>, Rudi Dierckx<sup>2</sup>, Hubert Thierens<sup>1</sup>**

(1) Ghent University, Department of Medical Physics and Radiation Protection  
Proeftuinstraat 86, 9000 Gent

(2) Ghent University Hospital, Division of Nuclear Medicine  
De Pintelaan 185, 9000 Gent

### **Abstract**

Radionuclide therapy is an important tool in cancer treatment. Because of the high potential patient radiation doses, accurate dosimetry has to be performed and a continuous feedback of the treatment is necessary. The role of dosimetry in metabolic radiotherapy is discussed, together with the importance of a patient specific approach.

The process of optimisation of radionuclide therapies by means of dosimetric calculations is discussed in two examples: the <sup>131</sup>I-MIBG therapy for neuroendocrine tumours and the <sup>131</sup>I-Lipiodol therapy for the treatment of liver cancer.

### **Introduction**

Unsealed radionuclides are routinely used in nuclear medicine for diagnostic purposes. By combining well-selected radionuclides with disease-seeking drugs, such as antibodies and special designed tracers, radionuclides can provide an efficient internal radiotherapy for localized disease as well as for metastatic cancer. Because of the high specificity of some tracers, radionuclide therapy is nowadays an important treatment option in cancer therapy.

Over the last decades, an increasing number of radioactive therapeutic agents are being used for the treatment of a large variety of diseases. The goal of all these therapies is to ensure a high absorbed dose to the tumor without causing undesired effects in healthy tissues. To achieve this, an appropriate activity has to be administered to the patient. Therefore, a treatment planning should be performed for each individual patient to ensure an optimized treatment with a minimum of normal tissue complications. As in external radiotherapy, dosimetry plays an important role in this treatment planning process.

### **Dosimetry in radionuclide therapy: from fixed activity to patient-specific treatment**

The therapeutic use of unsealed radioisotopes in medicine has a long history, dating back to the early 1940s [1]. For example, <sup>131</sup>I is being used over decades for the treatment of thyroid disease. Because of the large experience with <sup>131</sup>I in a clinical setting, toxicity and outcome of the <sup>131</sup>I-therapy is very well documented. Hence, in practice <sup>131</sup>I is mostly administered in a fixed activity protocol [1].

At present, due to the development of new agents, a large variety of radionuclide therapies is under investigation. In these cases, clinicians can not rely on a large experience concerning the safety and efficacy of the treatment. Fortunately, most radionuclides emit gamma rays that allow the measurement of the in vivo activity distribution by means of a gamma camera. A small tracer activity of the intended radiopharmaceutical is administered to the patient and quantitative imaging techniques are employed to establish patient-specific biokinetics [2]. Using mathematical algorithms (MIRD formalism), a radiation dose distribution in case of a therapeutic administration of the radiopharmaceutical is extrapolated from the results of this

tracer study. This patient-specific approach can be used for prediction of toxicity and efficacy of the therapy or for the development of a treatment plan for an individual patient [3].

### Dosimetry as a tool for quality assurance in metabolic radiotherapy

Dosimetry plays an important role in metabolic radiotherapy (Figure 1). Using a pre-therapeutic scan of the patient injected with a small tracer activity, one can predict the radiation dose distribution in the patient and hence calculate the optimal activity to be administered in the therapeutic setting. In this way an individualized patient dosimetry can optimize the probability of tumor control relative to normal tissue complications.

But also after the performed radionuclide therapy, a dosimetry calculation can be useful. First of all, it is important to verify the methodology used for the predicted radiation dose distribution. Secondly, the dosimetry results of a patient population can be combined to analyze the dose-response of the radionuclide therapy and to make changes in the therapy protocol when necessary.

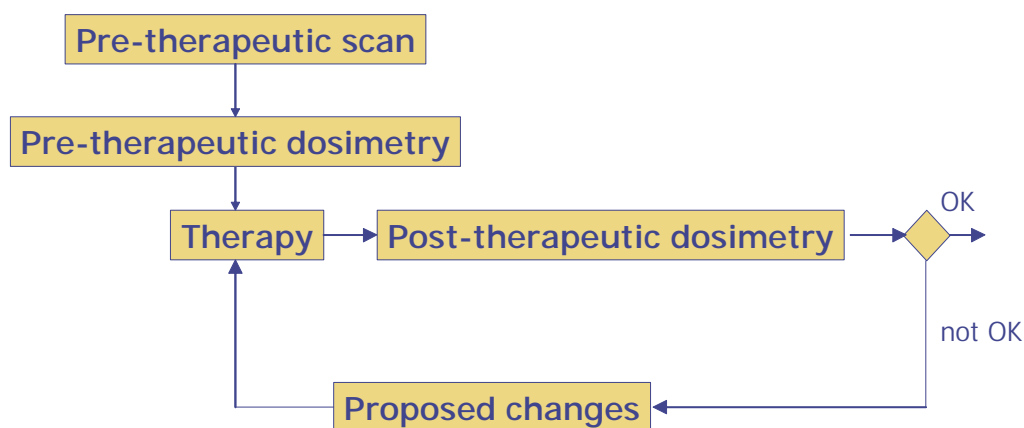


Figure 1: Role of dosimetry in metabolic radiotherapy

Patient-specific dosimetry also has an important role to play in the development of new agents. Especially in clinical trials, it is essential to establish possible toxicity and dose-response of the new treatment.

Patient-specific absorbed dose calculations will result in an improved correlation with the observed clinical effects for the tumor and the healthy tissues. Therefore, further improvements in metabolic radiotherapy can be made by optimization of the patient-specific treatment planning process.

### Dosimetry in clinical practice

There are different levels of complexity in patient-specific dosimetry. Basic calculations encompass the measurement of the biokinetics of the radiopharmaceutical and the use of standard models (MIRD formalism) to calculate (and extrapolate) radiation dose. These standard calculations can easily be performed by the medical radiation physicist of the department of nuclear medicine.

Figure 2 illustrates the possibility of predicting the radiation dose after a  $^{131}\text{I}$ -MIBG therapy for neuroendocrine tumors. The calculation was based on the biokinetics derived from a  $^{123}\text{I}$ -MIBG pre-therapeutic scan and the standard MIRD formalism [4].

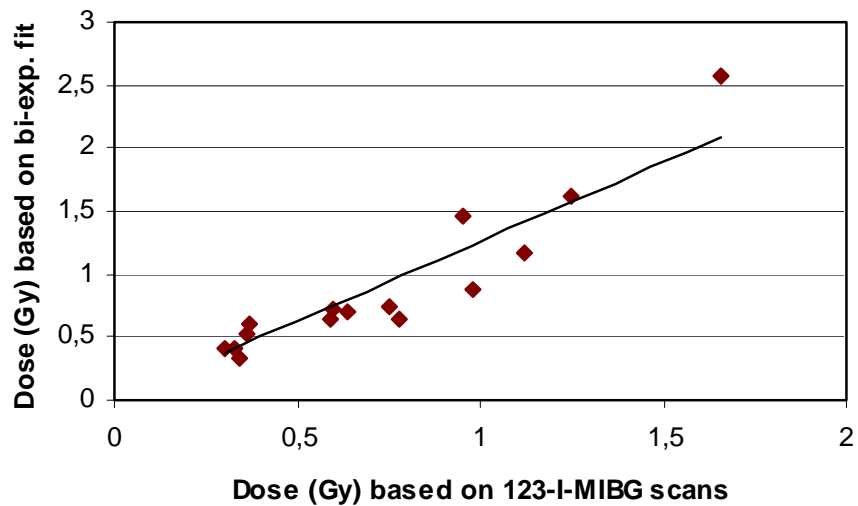


Figure 2: Radiation dose calculated after  $^{131}\text{I}$ -MIBG therapy in function of the predicted radiation dose based on a  $^{123}\text{I}$ -MIBG pre-therapy scan [4].

Another example of a basic calculation is the thyroid dose calculation after  $^{131}\text{I}$ -Lipiodol therapy for liver cancer. In the original protocol, no thyroid protection was advised. However, free  $^{131}\text{I}$  may be released and trapped by the thyroid. To prevent this, stable iodide such as potassium iodide (KI) can be given to saturate the thyroid before  $^{131}\text{I}$  is administered. A randomized study showed a significant thyroid dose reduction in the patient group that received KI before the therapy (Figure 3) [5]. Hence, thyroid protection is now implemented in the treatment protocol.

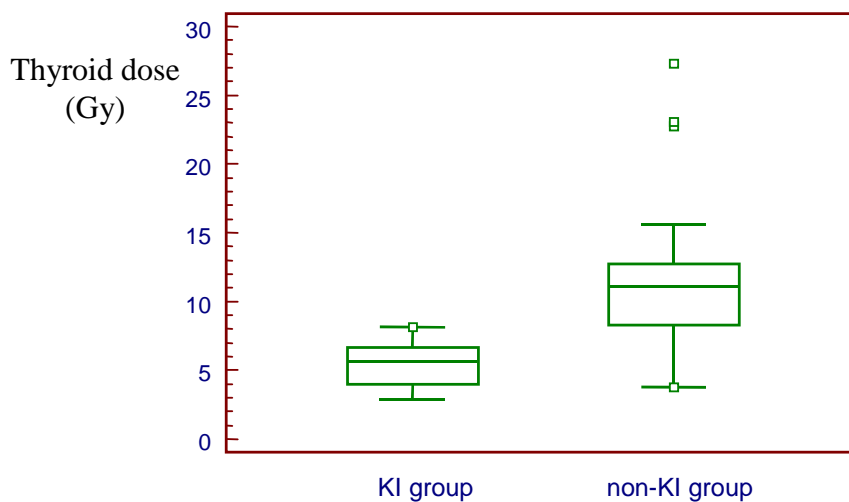


Figure 3: Thyroid dose (Gy) in the patient group with KI pre-medication (KI) and the control group (non-KI) [5].

To achieve more accuracy in dose calculations, adjustments of the standard phantoms are made using anatomical information of the patient [6]. Fusion of 3-D physiological images (SPECT or PET) with high-resolution anatomic images (CT or MRI), result in a 3-D

representation of the patient. These models are then implemented in a Monte Carlo simulation tool, to simulate a more accurate 3-D dose distribution. Although, the latter methodology is more precise, the calculations are far more complex and time-consuming. Therefore, the most sophisticated patient-specific calculations are still restricted to specialized centers in collaboration with universities.

### **Conclusion**

Because of the kinetics of the radiopharmaceutical and the difficult in vivo activity quantification, the absorbed dose calculations used in metabolic radiotherapy are more complex, than those used in external beam therapy. Hence, patient-individualized dose calculations are not routinely applied in radionuclide therapy as is the case in external radiotherapy.

However, dosimetry plays an important role in the optimization of the treatment for an individual patient. This will result in an improved correlation between the calculated dose and the clinical observed effects for the tumor and the healthy tissues. Therefore, further improvements in metabolic radiotherapy can be made by optimization of the patient-specific treatment planning process.

### **References**

- [1] Thomas SR. Options for Radionuclide Therapy: From Fixed Activity to Patient-Specific Treatment Planning. *Cancer Biother Radiopharm* 2002; 17 (1): 83-99.
- [2] Siegel JA, Thomas SR, Stubbs JB, et al. MIRDO Pamphlet No. 16: Techniques for quantitative radiopharmaceutical biodistribution data acquisition and analysis for use in human radiation dose estimates. *J Nucl Med* 1999; 40: 37S.
- [3] DeNardo GL, Hartmann Siantar CL, DeNardo SJ. Radiation Dosimetry for Radionuclide Therapy in a Nonmyeloablative Strategy. *Cancer Biother Radiopharm* 2002; 17 (1): 107-118.
- [4] Monsieurs M, Brans B, Bacher K, Dierckx R, Thierens H. Patient dosimetry for <sup>131</sup>I-MIBG therapy for neuroendocrine tumours based on <sup>123</sup>I-MIBG scans. *Eur J Nucl Med* 2002; 29 (12): 1581-1587.
- [5] Bacher K, Brans B, Monsieurs M, De Winter F, Dierckx R, Thierens H. Thyroid uptake and radiation dose after <sup>131</sup>I-lipiodol treatment: is thyroid blocking by potassium iodide necessary? *Eur J Nucl Med* 2002; 29 (10): 1311-1316.
- [6] Furhang EE, Chui CS, Sgouros G. A Monte Carlo approach to patient-specific dosimetry. *Med Phys* 1996; 23: 1523.

## **Résumé**

### **Vers la dosimétrie individuelle du patient en radiothérapie métabolique**

La radiothérapie devient un outil important dans le traitement du cancer. L'administration de doses élevées requiert une dosimétrie du patient précise et il est nécessaire de établir une boucle continue de retro-information tout au long du traitement. Le processus d'optimalisation est illustré dans la présentation à la lumière de deux exemples. La thérapie **MIBG** pour les tumeurs neuro-endocriniennes et la thérapie au lipiodol  $^{131}\text{I}$  dans le traitement du cancer du foie.

## **Samenvatting**

### **Naar de individuele dosimetrie van de patiënt in de metabolische radiotherapie**

De radiotherapie wordt een belangrijk hulpmiddel in de kankerbehandeling. Het toedienen van hoge stralingsdosissen verlangt een nauwkeurige stralingsdosis bepaling en een onafgebroken terugmelding van informatie gedurende de behandeling. De optimalisatie procedure wordt beschreven aan de hand van twee voorbeelden: de **MIBG** voor neuro- endocriene gezwellen en de lipiodol  $^{131}\text{I}$  therapie van de leverkanker.



## **KWALITEITSBEWAKING IN DE RADIOTHERAPIE: EEN OVERZICHT.**

**Bob Schaeken, B. De Ost, E. Messens, J. Vanregemorter, D. Van den Weyngaert.**  
A.Z. Middelheim, afd. Radiotherapie, Lindendreef 1, 2020 Antwerpen.

### **Samenvatting**

Om radiobiologische redenen moet in de radiotherapie de stralingsdosis binnen een zeer kleine foutenmarge toegediend worden aan de patiënt. Dit is de reden waarom men binnen de radiotherapie reeds vroeg is begonnen met het opstarten van sensibiliseringsprogramma's om het proces van dosistoediening te meten, te formaliseren en te controleren met als enig doel de kwaliteit van een behandeling zo hoog mogelijk te houden.

De afdeling radiotherapie van het A.Z. Middelheim startte 15 jaar geleden met een programma voor kwaliteitsbewaking, lang vóór het verschijnen van het Koninklijk Besluit (KB juli 2001 en 97/43/Euratom) dat deze zaken formeel regelt.

Radiotherapie moet beschouwd worden als een complex proces waarin zeer verschillende aspecten zijn betrokken, elk met hun eigen moeilijkheden: stralingsfysica en de calibratie van meetinstrumenten, complexe bestralingstoestellen voor teletherapie (versnellers) of voor brachytherapie (afterloaders), computeralgorithmen voor dosisberekeningen en het verwerven en verwerken van beelden (CT, MR, EPID). Kwaliteitsborging op het gehele proces is bijgevolg een zeer veelzijdige, ingewikkelde en tijdrovende aangelegenheid. Wij geven een overzicht van de voornaamste zaken.

### **1. Inleiding**

Patiënten die doorverwezen worden naar een dienst radiotherapie voor de behandeling van kanker, komen in aanraking met een veelheid aan personeel. Artsen dragen, in multidisciplinair teamverband, verantwoordelijkheid voor de diagnose en uitstippeling van een optimale individuele behandelingsstrategie. Verpleegkundigen staan in voor de praktische aspecten van de behandeling zelf, zodat deze in optimale omstandigheden kan verlopen. Een klinisch psycholoog en een support team staan in om de patiënt op te vangen en te begeleiden gedurende zijn behandeling. Fysici waken over de goede werking van alle technische apparatuur zoals bestralingstoestellen, radioactieve bronnen en alle mogelijke praktische aspecten die relevant zijn voor een behandeling, als ook over de stralingsveiligheid binnen de dienst als geheel, zowel naar het personeel als de bestralingstoestellen toe.

Een afdeling radiotherapie is dus bij uitstek een klinische én technische entiteit en daarom vraagt kwaliteitsborging in de eerste plaats een gemeenschappelijke inspanning en een heldere communicatie tussen de betrokken groepen.

Radiotherapie kan men bijgevolg beschouwen als een ketting van complexe en zeer verschillende processen. Kwaliteitsborging is hierin essentieel een eerste vereiste die in alle opeenvolgende stappen van de radiotherapie zou moeten gegarandeerd zijn. In deze bijdrage zullen wij de problematiek van kwaliteitsborging voornamelijk vanuit fysisch-technisch oogpunt benaderen zoals daar zijn de kwaliteitsborging van bestralingstoestellen (mechanische- en dosimetrische stabiliteit, bundelcalibratie), van radioactieve bronnen (bronsterkte en manipulatie), van computers die instaan voor een individuele dosisberekening binnen elke patiënt met het oog op optimalisatie van de bestraling, van de beeldverwerking en -verwerking verkregen met verschillende modaliteiten (CT, MRI, RX, PET...).

De toegelaten onzekerheid op de uiteindelijk aan de patiënt toegediende dosis is klein. Het ICRU rapport-24 (1) stelt dat *"met het oogmerk op totale uitroeiing van tumorcellen een nauwkeurigheid van 5% vereist is bij de toediening van de geabsorbeerde dosis aan het doelvolumen"*. De waarde van 5% op de onzekerheid heeft betrekking op een 95% betrouwbaarheidsniveau, wat geïnterpreteerd wordt als twee standaardafwijkingen, maar men erkent dat deze eis te strikt is. Recenter hebben studies aangetoond dat voor sommige typen van tumoren de gecombineerde onzekerheid op de dosistoediening kleiner moet zijn dan 3.5%. De noodzaak voor de 5% nauwkeurigheid wordt soms ook geïnterpreteerd als de tolerantie op de afwijking tussen de toediening van de dosis en het dosisvoorschrift. Binnen de radiotherapiegemeenschap heerst in elk geval de consensus over de noodzaak van een hoge nauwkeurigheid in dosisbepaling en -toediening, in het bijzonder wanneer men de dosis wenst te maximaliseren met 3D-conforme radiotherapie. De discussie is zeker nog niet afgesloten.

## 2. Teletherapie

In de teletherapie dient men een dosis toe aan de patiënt met behulp van een uitwendig geplaatste bron. Het doelvolumen wordt vanuit verschillende richtingen aangestraald met een gecollimeerde, eventueel intensiteitsgemoduleerde, stralingsbundel met als doel een zo homogeen mogelijke dosis toe te dienen aan het doelvolumen en tegelijkertijd de stralingsbelasting op het omringende gezonde weefsel zo veel mogelijk te beperken.

Wat betreft kwaliteitsbewaking, kan men dit proces zien als een ketting van opeenvolgende handelingen:

- 1) calibratie van meetapparatuur.
- 2) calibratie van bestralingsapparatuur en controle op de goede werking.
- 3) simulatie van de patiënt: het onder scopie afbakenen van het doelvolumen rechtstreeks op de patiënt of op de virtuele patiënt verkregen met behulp van een CT-scanner.
- 4) verwerven van beelden voor de berekening van de dosis binnen elke patiënt om de optimale bestralingswijze te vinden (CT) en juiste bepaling van het doelvolumen en kritische structuren (MR, PET,...).
- 5) berekening van de individuele dosis met behulp van speciale software (treatment planning system-TPS).
- 6) immobilisatie van de patiënt met het oog op het garanderen van een goede dagelijkse reproduceerbaarheid.
- 7) controle van de toegediende dosis door zowel de dosis per fractie te meten met behulp van *in vivo* dosimetrie (meestal controle van de ingangsdosis per bundel), maar ook controle van de juiste positionering van de patiënt in de bundel met behulp van

transmissiebeelden: gammagrafieën of EPID (electronic portal imaging device) beelden .

Het toenemend perfectioneren van de behandeling van kwaadaardige tumoren door middel van bestraling gaat gepaard met een toenemende behoefte aan een doorgedreven vorm van kwaliteitsverzekering. Het is uitermate belangrijk dat de voorgeschreven dosis straling met grote nauwkeurigheid wordt toegediend. Om deze reden werd een programma voor kwaliteitsverzekering uitgewerkt dat zowel de behandelingstoestellen als de gebruikte meet- en berekeningsmethodes omvat.

De problematiek van kwaliteitsborging in de radiotherapie werd binnen onze dienst reeds zeer vroeg erkend. Vanaf 1988 werd de controle van de bestralingsapparatuur systematisch geregistreerd en vanaf 1992 ontmoetten medische fysici elkaar in de werkgroep "Dosimetriegroep Antwerpen". Vanaf 1994 engageerden alle 5 radiotherapiecentra van de provincie Antwerpen zich om gezamenlijk een project rond kwaliteitsborging op te starten (2) (KWARTA: kwaliteitsverzekering in de radiotherapiecentra van de provincie Antwerpen) met als doel de bevolking van de provincie Antwerpen een radiotherapiebehandeling aan te bieden, gebaseerd op dezelfde hoge kwaliteitsnormen, onafhankelijk van het behandelende ziekenhuis. Dit werd mogelijk doordat zowel de bestralingstoestellen, als de meet- en berekeningsapparatuur in de verschillende diensten zich vrijwillig onderwierpen aan gemeenschappelijke procedures en kwaliteitsnormen, en door een grondige analyse van alle fysische en technische facetten van de tele-radiotherapie. De procedures voor bestralingsapparatuur omvatten zowel de dosimetrische- (bundelcalibratie, korte termijn stabiliteit, bundelenergie en – vlakheid) als mechanische stabiliteit (arm- en collimatorrotatie, tafelbewegingen, telemeter, positioneringslasers, licht-en stralingsveld, veiligheden...).

Op dit ogenblik hanteren wij de KWARTA-procedures in combinatie met het NCS-8 rapport (3).

<u>absolute kalibratie :</u>		<u>dosimetriesysteem in LINAC (IEC89 tolerantie) :</u>	
kalibratie veld-ionisatie kamer (Nk)	0.7 %	reproduceerbaarheid	± 0.25 %
bundelcalibratie (ref.punt) 2.3 % (Co);3.1% (γ);3.6% (β)		lineariteit	± 1 %
dosis in weefsel / in fantoom	0.7 %	hoekafhankelijkheid	± 0.7 %
		dagstabiliteit	± 0.5 %
		jaarstabiliteit	± 0.7 %
		<b>dosimetriesysteem gemiddelde</b>	<b>1.5 %</b>
<u>bundelstabiliteit :</u>		<u>andere :</u>	
dosis t.g.v. ± 5 mm telemertolerantie	±0.5 %	TPS	4.0 %
dosis t.g.v. ± 0.7% tolerantie in energie	± 0.14 %	beweging van organen	4.0 %
stabiliteit in vlakheid met gantryhoek	± 0.8 %		
<b>stabiliteit gemiddelde</b>	<b>0.95 %</b>		
		<b>TOTAAL</b>	<b>&gt; 6 %</b>

Tabel 1: onzekerheden op basis van 1sd geassocieerd met verschillende stappen in het toedieningsproces voor stralingsdosis. De gegevens werden gecompileerd uit literatuurwaarden en eigen bevindingen.

Is de eis van 5% nauwkeurigheid bereikbaar? Uit een analyse van alle opeenvolgende stappen blijkt dat dit niet evident is (tabel1):

Bundelcalibratie. De onzekerheid (1sd) op de kerma-in-lucht-calibratiefactor van een ionisatiekamer bedraagt 0.7 % in cobalt en 2.0% in het Ir-192 spectrum (brachytherapie). De bepaling van de dosis in water in een referentiepunt met behulp van een ionisatiekamer gebeurt met behulp van een calibratieprotocol (4,5,6). De globale onzekerheid op de dosis bedraagt 2.3% in cobalt-60; 3.1% in een hoge energie fotonbundel (6 MV – 25 MV) en 3.6 % in een elektronbundel (7). In een lineaire versneller wordt de bundel bemonsterd door een systeem met dubbele ionisatiekamers dat instaat voor een juiste dosering en stabilisatie van de bundel. Op basis van gesuggereerde IEC89 tolerantie wordt de gemiddelde onzekerheid op het dosimetriesysteem berekend op 1.5% (8), wat goed overeenkomt met eigen bevindingen.

Energie- en bundelstabiliteit. TPS (treatment planning system) dosisberekeningen zijn gebaseerd op éénmalig gemeten bundelprofielen (isodosen) in een waterfantom dat loodrecht aangestaald wordt (armrotatie = 0°). Een verraderlijke bijdrage tot fouten in de uiteindelijk aan de patiënt toegediende dosisverdeling, is de mogelijke instabiliteit van zowel de bundelvlakheid als de -energie op korte en lange termijn. Zowel vlakheid als energie en dosistempo worden dagelijks vóór aanvang van de bestralingen gemeten met een bundelscanner uitgerust met 6 ionisatiekamers (Sun Nuclear, Daily QA, Model1090). De metingen worden automatisch verwerkt en bij een afwijking groter dan 2% wordt de medisch fysicus automatisch per e-mail verwittigd. Tabel 2 toont de maandelijkse variaties in vlakheid van een 18 MV fotonenbundel: deze liggen in regel binnen 0.5% en de gemiddelde onzekerheid op jaarbasis bedraagt 0.54%. Men vindt gelijkaardige waarden voor een 6 MV bundel uit dezelfde versneller, als ook voor dezelfde bundels van een andere versneller.

<b>Sli-1 / X18</b>	<b>G (%)</b>	<b>T (%)</b>	<b>A (%)</b>	<b>B (%)</b>
januari	0.08	0.55	-0.23	-0.66
februari	-0.41	-0.02	-0.73	-1.16
maart	0.44	-0.21	0.02	0.32
april	0.48	-0.36	-0.01	0.19
mei	-0.38	-1.45	-1.04	-0.61
juni	-0.50	-1.20	-0.88	-0.48
juli	0.25	-0.19	0.07	0.11
augustus	-0.16	-0.51	-0.34	-0.21
september	0.89	0.25	0.74	0.79
oktober	0.57	0.09	0.52	0.46
november	0.55	-0.02	0.44	0.35
december	0.48	0.21	0.24	0.37
<b>gemiddelde</b>	<b>0.19</b>	<b>-0.24</b>	<b>-0.10</b>	<b>-0.04</b>
<b>1sd</b>	<b>0.46</b>	<b>0.58</b>	<b>0.56</b>	<b>0.58</b>

Tabel 2: controle van de vlakheid van een 18MV fotonenbundel: gemiddelde procentuele afwijking van dosismetingen in 4 punten in een vlak loodrecht op de bundel. "G" een punt in de richting van de arm (gantry), "T" in de richting van het x-stralendoel (target) en "A" en "B" in een richting loodrecht hierop. Waarden gemeten met een scanner van het type Sun Nuclear, Daily QA, Model1090 voor een duale energie versneller (Elekta, Sli) in 2002.

Het is niet alleen van groot belang dat de vlakheid van de bundel stabiel blijft in de tijd, maar ook in functie van de armrotatie. Stabiliteit in functie van de rotatiehoek is niet

evident, want wordt bepaald door de stabiliteit van de invalpositie en oriëntatie van de (versnelde) elektronenbundel op het x-stralendoel relatief t.o.v. de as van de afvlakfilter. Het is bekend dat indien men de vlakheid binnen de 1% marge wil houden, de gemiddelde positie en -oriëntatie van de invallende elektronenbundel op het x-stralendoel slechts mag variëren binnen  $\pm 0.1$  mm /  $\pm 1$  mradiaal (8).

Instabiliteit in de gemiddelde energie van de bundel kan aanleiding geven tot een (symmetrische) instabiliteit. De oorzaak voor energie-instabiliteit (verandering van energiespectrum) kunnen zijn: problemen met de energiespleten, veranderend magnetisch veld van de aarde, instabiliteit in de resonante frequentie van de golfpijp door temperatuurschommelingen... Tabel 3 toont de maandgemiddelden van de dagelijks gemeten procentuele afwijking van de energie en het dosistempo voor 6 MV en 18 MV fotonenbundels voor het jaar 2002. Hieruit blijkt dat de onzekerheid op de energie op jaarbasis 0.6% tot 0.7% bedraagt wat verantwoordelijk is voor een onzekerheid van 0.14% op de geabsorbeerde dosis.

SLI-1	Output 6MV (%)	Energie 6MV (%)	Output 18MV (%)	Energie 18MV (%)
jan	+0.1	-0.3	-0.7	-0.8
feb	-0.3	-0.7	-1.2	-1.3
maart	-0.1	+0.2	+0.1	0.0
april	-0.4	-0.2	-0.1	-0.2
mei	-0.7	-0.5	-1.1	-1.2
juni	-1.7	-1.6	-0.7	-0.8
juli	-0.4	-0.4	+0.0	0.0
augustus	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2
september	-0.5	-0.4	+0.6	+0.8
oktober	-0.3	-0.3	+0.3	+0.4
november	+0.7	+0.8	+0.2	+0.4
december	-0.2	-0.4	+0.3	+0.2
<b>gemiddeld</b>	<b>-0.4</b>	<b>-0.3</b>	<b>-0.2</b>	<b>-0.2</b>
<b>1 sd</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>

Tabel 3: maandgemiddelden van de dagelijks gemeten afwijking (%) ten opzichte van de referentiewaarde voor de bundelenergie en het dosistempo (output) voor 6MV en 18 MV fotonenbundels. Waarden gemeten met een scanner van het type Sun Nuclear, Daily QA, Model1090 voor een duale energie versneller (Elekta, Sli) in 2002. De getabelleerde waarden zijn gelijkaardig voor een andere, identieke versneller.

Calibratie en dosistempo. De dosis (Gy) per eenheid van bestralingstijd (monitoreenheid, ME) wordt onder referentieomstandigheden gemeten in een referentiepunt aan de hand van een protocol(\*). Deze bundelcalibratie gebeurt maandelijks. Tabel 4 leert dat de variaties in dosis op maandbasis in regel binnen 1% blijft met de vooropgestelde waarde (100 ME = 1 Gy in referentieomstandigheden).

	<b>X6</b>	<b>X18</b>	<b>E6</b>	<b>E8</b>	<b>E10</b>	<b>E12</b>	<b>E15</b>	<b>E20</b>
jan	0.999	0.998	1.004	1.007	1.006	0.999	1.000	
april	0.996	1.021	1.001	1.001	1.006	0.997	0.998	1.003
mei	1.006	0.996	0.997	1.002	0.992	0.982	0.972	0.977
			1.001	1.004	1.000	1.004	1.014	1.000
juni	0.995	1.000						
	0.984	0.997	0.980	0.993	1.000	1.000	1.004	1.001
juli	1.005	1.005	1.000	0.997	0.992	0.995	0.991	0.997
september	1.004	1.000	1.010	1.017	1.013	1.011	1.009	
oktober	1.008	1.009	1.011	1.000	1.005	1.008	1.006	1.015
november	1.000	1.000	1.005	0.982	0.989	0.988	0.993	0.994
december	0.999	0.991	1.001	1.007	1.002	1.001	0.994	0.995
<b>gemiddeld</b>	<b>1.000</b>	<b>1.002</b>	<b>1.001</b>	<b>1.001</b>	<b>1.001</b>	<b>0.999</b>	<b>0.999</b>	<b>0.998</b>
<b>1sd</b>	<b>0.007</b>	<b>0.008</b>	<b>0.008</b>	<b>0.009</b>	<b>0.007</b>	<b>0.009</b>	<b>0.011</b>	<b>0.011</b>

Tabel 4: overzicht van de bundelstabiliteit in dosis (calibratie): waarden geven de verhouding van de gemeten dosis tot de vooropgestelde dosis in een referentiepunt. Waarden gemeten voor een nieuw geïnstalleerde versneller (Sli, Elekta) voor alle beschikbare bundels: 6MV en 18 MV fotonenbundel en 6MeV – 20 MeV elektronenbundel.

Tevens nemen wij vrijwillig deel aan internationaal georganiseerde netwerken voor kwaliteitsbewaking (dosismeting in elektronen- en fotonenbundels). Deze externe audits vormen een goede toetsing voor onze eigen procedures voor kwaliteitsborging.

Dosisberekeningen. Vóór de start van een behandeling wordt de dosis binnen in de patiënt berekend met behulp van “planning” software. Dit biedt de mogelijkheid om de bundelbalistiek te optimaliseren met het oog op een maximale en homogene dosisverdeling binnen het doelvolumen en een zo laag mogelijke dosis in de omringende gezonde weefsels. Hiervoor wordt met behulp van opeenvolgende CT-beelden een 3D model van de patiënt in bestralingshouding berekend. Moderne software voor dosisberekeningen is gebaseerd op stralingstransportmodellen die gebruik maken van energiedepositiekernels en convolutie en superpositie van dosisberekeningsalgorithmen.

De software voor de dosisberekening wordt gemodelleerd met behulp van meestal éénmalig in een waterfantom gemeten bundelkarakteristieken, zodat de dosisberekeningen in water beantwoorden aan de fysische realiteit voor de betrokken bundels. In praktijk gebeurt de modellering per energie en voor een aantal veldgrootten.

Een algemene schatting maken van de fouten op de berekende dosis in water is niet gemakkelijk want hangt af van de complexiteit van de bundel. Verschillende auteurs onderzochten de tolerantie van de nauwkeurigheid waarmee een TPS systeem de dosis in verschillende delen van een fotonenbundel moet kunnen berekenen. Venselaar(9,10) berekende de gemiddelde afwijking tussen gemeten en berekende dosis in een groep van punten in een gelijkaardige situatie (confidence limit) voor 7 verschillende commerciële TPS systemen voor situaties van stijgende complexiteit: open velden: 2.0%; met wigfilter: 2.6%; met onregelmatige blokken: 5.6%; longinhomogeniteit: 2.4%;

botinhomogeniteit: 2.7%; schuine inval: 1.4%; asymmetrische open velden: 3.1% en asymmetrische velden met wigfilter: 8.0%. Er kunnen grote verschillen bestaan tussen verschillende TPS systemen onderling, maar ook de correctheid van modellering door de fysicus heeft een belangrijke invloed (12).

Voor de transfer van dosis in water naar dosis in weefsel zal men een correctie maken voor de inhomogeniteit van de patiënt, verkregen uit CT-beelden, door schaling van de energiedepositiekern aan de hand van de Hounsfieldwaarden. Een correcte berekening van de dosis in een patiënt stelt dus ook eisen aan de kwaliteit van CT-scanners, in het bijzonder de variatie van het lineair verband tussen CT-nummers en de lineaire verzwakkingscoëfficiënt, maar ook van de beeldkwaliteit, lasers en mechanische tafelparameters. Een beschrijving van testen voor CT-scanners en TPS systemen, hun frequentie en toleranties zijn beschreven (11). Voor onzekerheden op de berekende dosis in een elektronenbundel zijn nog geen goede gegevens beschikbaar. Uit veiligheidsoverwegingen wordt de TPS berekende bestralingstijd op een onafhankelijke manier met de hand nagerekend (13,14,15).

Orgaanbeweging. Orgaanbeweging is oorzaak van systematische en willekeurige fouten in de toegediende orgaandosis. Over de grootte van deze fout is geen definitieve waarde te geven, want hangt af van situatie tot situatie vb. Beweging van de thorax door ademhaling versus prostaatbeweging. Men schat deze fouten op gemiddeld 4%. Onderzoek naar het effect van orgaanbeweging is erg actueel in het licht van IMRT behandelingen.

In vivo dosimetrie . Het sluitstuk in de kwaliteitsverzekering van een behandeling is de rechtstreekse controle van de toegediende dosis aan de patiënt. Door bijvoorbeeld de intrededosis (“huidosis”) rechtstreeks te meten kan men deze vergelijken met de theoretische waarde; eventuele afwijkingen kunnen het gevolg zijn van bijvoorbeeld verkeerd ingestelde bundels, verkeerd gekozen bundelenergie, het vergeten van afschermingen, een onnauwkeurige positionering van de patiënt in de bundel wat resulteert in een onjuiste focus-huidafstand,... In praktijk wordt de dosis gemeten met diodedetectoren (Scanditronix EDP20 voor 6MV-18MV fotonbundels; EDE5 voor Co-60 bundels) die een ogenblikkelijke meting van de dosis toelaten of met behulp van TLD. Op onze dienst werd een automatisch meetstelsel ontwikkeld dat niet alleen de intrededosis meet en registreert, maar ook vergelijkt met de theoretische waarde berekend uit de bundelparameters (16). Het resultaat verschijnt onmiddellijk zodat de verpleging meteen kan zien of de set-up van de patiënt correct was. Op het einde van de dag wordt de lijst met meetresultaten nagekeken door een arts.

Tot hiertoe werden meer dan 4000 metingen verricht; het acceptatieniveau werd na een inlooperperiode vastgesteld op 5%.

Bij Cobalt-bestralingen werd in 7% van de metingen een afwijking gevonden groter dan 5% en in 2.5% van deze gevallen was deze afwijking groter dan 10%. Wanneer het meetresultaat buiten het acceptatieniveau valt wordt de meting herhaald. In 70 % van de gevallen viel de meting nu binnen het acceptatieniveau, in de andere gevallen wordt gezocht naar de oorzaak van de afwijking. De meest voorkomende oorzaken zijn: de diode wordt onder een te grote hoek aangestraald, bij aanwezigheid van een wigfilter in het bestralingsveld is de positionering van de diode zeer kritiek, de meetdiode wordt geplaatst onder een afscherming, de blokhouders worden vergeten wat niet elektronisch gecontroleerd wordt door het verificatiesysteem...

Bij linac-bestralingen vielen 11% van de metingen buiten het 5% acceptatieniveau, 7% van de metingen liggen in het bereik 5% tot 10 % afwijking en 4% van de metingen hadden een afwijking groter dan 10%. Voor deze laatste groep werd de meting herhaald : in meer dan de helft van de gevallen correspondeerde het meetresultaat binnen 5% met de verwachtingswaarde. Alle andere metingen werden grondig geanalyseerd en konden wij volgende oorzaken aanwijzen: verschillende FHA bij de behandeling vergeleken met de planning, beweging van de patiënt,...

EPID-beelden. Het is uiteraard wenselijk te kunnen nagaan of de patiënt ook effectief goed gepositioneerd ligt in de bundel. Patiënten worden dagelijks in de goede bestralingshouding gelegd met behulp van kleine markeringen op de huid, al dan niet in combinatie met fixatiehulpmiddelen (maskers, kussens,...). Vaste lasers helpen bij deze instelling. De tolerantie op de positionering van de bestralingsbundel op de patiënt bedraagt typisch 1 mm. Traditioneel wordt een juiste bundelinstelling geverifieerd aan de hand van een transmissiebeeld (gammaografie met film) van de bundel door de patiënt in bestralingshouding. Deze beelden worden door een arts met het oog vergeleken met de RX-beelden van de simulatie, wat omwille van technische redenen moeilijk kan zijn (beeldkwaliteit, strooistraling, zichtbaarheid van omringende structuren...). Deze procedure is ook tijdrovend. Recent laten elektronisch verkregen beelden (EPID) on-line toe om afwijkingen in patiëntpositie te berekenen (verschuiving, rotatie), zodat op een snelle en preciese manier correcties kunnen worden uitgevoerd indien nodig.

Recent zijn wij gestart met een programma voor de systematische vergelijking van EPID-beelden met met de ingestelde bestralingsvelden verkregen tijdens de simulatie (RX beelden) of met de digitaal gereconstrueerde beelden (DRR) op het TPS systeem. Dit zal ons toelaten om toleranties vast te leggen en de procedure voor dit aspect van de kwaliteitsbewaking praktisch uit te werken.

Tot slot hernemen wij tabel 1, waaruit blijkt dat de totale gecombineerde onzekerheid op de toegediende dosis berekend wordt op 6.7% voor een fotonenbundel met een gemiddelde complexiteit (aanwezigheid van onregelmatige blokken in het stralingsveld) opgewekt in een versneller. De hoofdoorzaak voor die relatief grote waarde ligt voornamelijk op het vlak van de dosisberekeningen en orgaanbeweging. Dit laatste zal in de toekomst bijzonder actueel worden wanneer de techniek van conformele radiotherapie (IMRT, radiochirurgie) meer opgang vindt.

### **3. Brachytherapie**

In brachytherapie wordt de geabsorbeerde dosis aan het doelvolumen geleverd door radionucliden *in* de patiënt te brengen. Afhankelijk van het dosistempo spreekt men over een behandeling:

- met een hoog dosistempo (high dose rate-HDR); hiervoor gebruikt men een miniatuurbron met het isotoop Ir-192 met een nominale activiteit van 0.37 TBq wat overeenkomt met een kermatempo in lucht van  $4.07 \text{ cGyh}^{-1}$  @1 m. De bron wordt met een HDR-afterloader vanop afstand via een catheter in de patiënt gestuurd waar de bron een zekere tijd verblijft op op voorhand geprogrammeerde posities. Wij gebruiken deze techniek voor bestralingen van long- en bronchustumoren.



- met een laag dosistempo (low dose rate-LDR): veel gebruikt zijn Cs-137 pareltjes of staafjes met een nominale activiteit van 0.74 GBq of een luchtkermaptempo van  $53 \mu \text{Gy h}^{-1}$  @1 m. De brontrein wordt met een LDR-afterloader vanop afstand via een catheter in de patient gestuurd waar de bronconfiguratie een zekere tijd verblijft. Deze techniek gebruiken wij voor bestraling van gynecologische tumoren. Een alternatief is het gebruik van Ir-192 in draadvorm (0.37 MBq/cm;  $40.7 \mu \text{Gy h}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  @1 m ) waarbij op maat gesneden draden in/op de patiënt worden gebracht voor behandeling van gynecologische- en huidtumoren. Cardio-vasculaire aandoeningen worden behandeld met P-32 bronnen ( $A_{\text{nom}} = 12 \text{ GBq}$ ).

HDR en LDR brachytherapie. Een nauwkeurig toegediende dosis vereist in de eerste plaats het gebruik van een correcte bronsterkte. Een Ir-HDR bron wordt gemiddeld 3 tot 4 keer per jaar vervangen. Telkens wordt de bronsterkte gecontroleerd en vergeleken met de door de fabrikant gespecificeerde waarde op het certificaat vóór gebruik. Vanaf 1994 waren meetprotocollen beschikbaar (17,18). In de periode 1992-2002 controleerden wij in het totaal 33 bronnen op hun sterkte (referentie luchtkermaptempo). De gemiddelde afwijking tussen de eigen meting en de door de fabrikant opgegeven waarde bedraagt  $0.986 (\pm 0.02, 1\text{sd})$ . De minimale afwijking bedraagt +3% en de maximale afwijking -10%.

Behandelingen met Cs-137 worden in ons centrum uitgevoerd vanaf 1976, maar de meetproblematiek werd voor dit type van bronnen slechts in de literatuur behandeld vanaf 1984. Fysici vertrouwden op de activiteit vermeld op het bijhorende certificaat. De activiteit van de individuele Cs-137 bronnen (LDR-selectron, Nucletron) werd 1992 in verschillende centra in België gemeten met een gecalibreerde putkamer(19). Er werden belangrijke verschillen vastgesteld en in één geval trof men onder de 36 aanwezige bronnen in het toestel één bron aan met dubbele activiteit.

Recent werden de resultaten van een uitgebreide bevraging gepubliceerd (20,21,22,23) die peilde naar de bestaande protocols voor kwaliteitsverzekering in HDR, PDR en LDR brachytherapie onder 39 centra in België en Nederland. De bevindingen waren dat er een grote variëteit bestaat in de testmethoden en hun frequentie. De variatie in de nauwkeurigheidscriteria waren kleiner, maar grote verschillen werden waargenomen in de tijd besteed aan kwaliteitsborging.

De belangrijkste tests zijn 1) een controle van de nauwkeurigheid van de ruimtelijke reconstructie (24) van de bronnen waarop de dosisberekeningen zijn gebaseerd en 2) een controle van de geabsorbeerde dosis. Uit vergelijkende metingen in 33 instellingen blijkt dat de gemiddelde nauwkeurigheid op de reconstructie  $-0.07 \text{ mm} (\pm 0.4 \text{ mm}, 1\text{sd})$  bedraagt en dat de gemiddelde afwijking van de gemeten dosis met de voorgeschreven dosis  $+0.9\% (\pm 1.3\%, 1\text{sd})$  bedraagt voor 21 HDR systemen;  $+1.0\% (\pm 2.3\%, 1\text{sd})$  voor 12 PDR systemen en  $+1.8\% (\pm 2.5\%, 1\text{sd})$  voor 15 LDR systemen. Aan de hand van deze informatie werd een set van minimum vereisten voor kwaliteitsborging voor HDR, LDR en PDR brachytherapie geformuleerd (25,26).

LDR met Iridiumdraad. Voor bepaalde toepassingen gebruikt men soepele Ir-192 draad dat beschikbaar is op een spoel met een draadlengte van 50 cm. Naargelang de behoefte worden daarvan stukken geknipt voor gebruik in een implantaat om op deze manier een hoge dosis te geven op een beperkt volume weefsel. Voor het berekenen van de dosis gaat men ervan uit dat de lineaire activiteit precies gekend is en dat de bronnen homogeen

zijn. Calibratiefaciliteiten voor Ir-192 kwamen relatief laat ter beschikking en meestal vertrouwden fysici in de periode vóór 1992 op de door de fabrikant opgegeven activiteit. Uit berekeningen blijkt (27) dat de lineaire activiteit tot 6% mag variëren voor korte draden (3 cm) zonder dat de homogeniteit van de geabsorbeerde dosis in het gedrang komt. Metingen tonen aan dat in 95% van de gevallen de afwijking in homogeniteit binnen 3% ligt t.o.v. de gemiddelde lineaire activiteit over de gehele spoel. Wel werden cyclische variaties in de lineaire activiteit waargenomen als gevolg van het productieproces en kunnen beide uiteinden van de spoel tot 10% verschillen in lineaire activiteit. Daarom verkiezen wij om de lineaire activiteit van elke op maat gesneden draad apart te meten in een gecalibreerde putkamer. Fig.3 toont de verhouding van de gemeten- en de door de fabrikant gespecificeerde lineaire activiteit van Ir-192 draad (Amersham) in een putkamer (Viktoreen 34-070) voor meer dan 300 bronnen. De metingen werden gesorteerd op lengte: links bronnen met een lengte van 2 cm en rechts tot 12 cm. De foutaanduiding heeft betrekking op een 1 mm nauwkeurigheid in bronlengte. Gemiddeld komt de gemeten lineaire activiteit goed overeen met die van de fabrikant: 1.01 ( $\pm 0.03$ , 1sd), maar afwijkingen groter dan 5% werden waargenomen. Voor de behandeling wordt echter steeds de gemeten lineaire activiteit gebruikt (29).

Gezien het groot aantal bronnen en de daaraan verbonden problematiek van boekhouding en stralingsveiligheid werd een programma ontwikkeld dat de hoeveelheid Ir-draad en de restactiviteit berekent als ook de metingen zelf en welke bron voor welke patiënt wordt gebruikt (28).

Coronaire bestralingen. Restenose in de kransslagaders wordt behandeld door bestraling van de stenose tot een dosis van typisch 20 Gy. Hiervoor gebruikt men de zuivere beta-emitter P-32 zodat deze dosis zeer lokaal wordt gegeven. De kwaliteitsborging voor dit systeem bestaat uit 1) de periodieke controle van alle veiligheidsaspecten van het toestel, 2) de controle op de reproduceerbaarheid van de bronpositie en 3) verificatie van de bronsterkte. Dit laatste wordt gemeten met een put-ionisatiekamer met een ijkfactor die herleidbaar is naar de NIST-standaard. De gemiddelde verhouding tussen de gemeten activiteit en de door de fabrikant opgegeven activiteit bedraagt 0.999 ( $\pm 0.009$ , 1sd) over een totaal van 38 bronnen. Wij hebben nooit afwijkingen groter dan 0.5 mm waargenomen op de bronpositionering. Ook de homogeniteit van de bron wordt gecontroleerd (Fig.1).

In vivo dosimetrie. Gezien de aard van brachytherapie worden in praktijk in de meeste centra geen *in vivo* metingen uitgevoerd. De moeilijkheden situeren zich op twee gebieden nml. enerzijds de combinatie van het bestaan van een grote dosisgradiënt met een beperkte ruimtelijke resolutie van geschikte meetinstrumenten voor deze toepassingen en anderzijds, de bijkomende belasting voor de patiënt. In enkele gevallen zijn uit de literatuur metingen met TLD's bekend. Dosimetrie op basis van elektron magnetische resonantie (EPR) met alanine biedt echter (niet alleen!) in deze context interessante perspectieven(29-35). Zo hebben wij met succes betrouwbare *in vivo* metingen verricht bij gynecologische bestralingen(36), meting van de dosis aan de rectumwand(37) en zelfs de blaaswand(38) zonder bijkomend ongemak voor de patiënt.

I-131 therapie. Onze dienst is uitgerust met 6 isolatiekamers waarin patiënten gedurende één week verblijven na orale toediening van I-131 ( $\pm 5.5$  GBq) voor de behandeling van schildklierkanker. Speciale voorzieningen zoals voldoende afscherming in muren en

collectie van afvalwaters in een speciaal circuit zorgen voor een optimale stralingsbescherming. Bij ontslag worden zowel patiënt als zijn bagage op stralingsbelasting nagemeten. Aanbevelingen van het IAEA(39) hanteren de norm van 1100 MBq bij ontslag van de patiënt maar erkennen dat 400 MBq zoals toegepast in sommige landen een "example of good practice" is. Op onze dienst hanteren wij de norm van 300 MBq wat overeenkomt met een effectief dosistempo van 17 Sv/h op 1 m van de patiënt. De problematiek van nazorg wordt uitvoerig behandeld in richtlijnen van de EC(40), maar men geeft geen ontslagnorm. Het gemiddelde effectief dosistempo op 1 meter, gemeten over 5 jaar voor 204 patiënten bedraagt 12 Sv/h. Aangezien I-131 ook wordt uitgescheiden door zweten en de wetgever niets zegt over bagage, hebben wij over dezelfde periode ook het effectief dosistempo gemeten van de bagage in contact. Het door ons gemeten effectief dosistempo bedraagt gemiddeld 19 Sv/h (N=204) maar grote variaties worden waargenomen (tabel 5). Er worden aan de patiënt steeds duidelijke instructies gegeven i.v.m. wasgoed. Afhankelijk van de toestand van de patiënt en van zijn huiselijke omgeving wordt de bagage op de dienst in bewaring genomen indien zwaar gecontamineerd.

Veiligheid van personeel. Het dragen van een persoonlijke dosimeter is verplicht voor alle personeel werkzaam in een gecontroleerde zone. Het waken over de stralingsveiligheid van het personeel behoort dan ook tot de opdracht van de medisch fysicus. Belangrijk is dat de maandelijks gemeten effectieve dosis kan gebruikt worden om sommige aspecten van de kwaliteitsborging van bepaalde handelingen bij te sturen. Fig.2 toont een overzicht van de opgelopen effectieve dosis voor alle personeelsleden werkzaam op de afdeling radiotherapie voor de periode 1993 – 1999. In alle gevallen ligt de effectieve dosis ruim onder de norm van 20 mSv. Personeelsleden die werkzaam zijn in de teletherapie worden zeer weinig belast ( $0 \mu\text{Sv}$ , onder de detectiedrempel) wat duidt op een afdoende bescherming van de bestralingsruimten. Artsen die vooral op de consultatie werkzaam zijn of personeelsleden die voor het vervoer van patiënten instaan kunnen, tegen de verwachting in, toch een zeer kleine effectieve dosis oplopen; waarschijnlijk door contact met patiënten die radioisotopen kregen toegediend voor diagnose.

Verzorgend personeel, artsen en fysici die instaan voor brachytherapie laten een hogere effectieve dosis opmeten, maar nog steeds ruim onder de jaarnorm: gemiddeld 1.3 mSv op jaarbasis met uitschieters tussen 5 mSv en 10 mSv waarvoor steeds een aanwijsbare reden kon worden gevonden (vb. tijdrovende manipulaties met relatief sterkere bronnen in moeilijke situaties). Vingerdosimeters die gedragen werden tijdens de manipulatie van Ir-192 draad bij brachytherapie tonen op jaarbasis een zeer bevredigende waarde ( $\pm 10 - 30 \text{ mSv}$ ).

#### **4. Besluit**

Wegens de kleine tolerantie op de onzekerheid van de toegediende dosis is het van essentieel belang dat programma's voor kwaliteitsbewaking worden georganiseerd. De veelzijdigheid van de verschillende stappen in het proces maken dit tot een echte uitdaging die echter ook vaak tijdrovend is. Radiotherapie omvat bij uitstek klinische én technische aspecten: kwaliteitsborging is dan ook het resultaat van een volgehouden inspanning van het ganse team.

	<u>gemiddeld</u>	<u>min</u>	<u>max</u>	
1997	15 $\mu$ Sv/h	2	80	patiënt @1 m
	16	1.5	75	bagage in contact
1998	12	1	100	
	13	2	60	
1999	12	1	70	
	32	1	500	
2000	10	1	30	
	23	0.5	100	
2001	10	0.5	70	
	15	2	70	
2002	13	2	50	
	17	2	50	

Tabel 5: gemiddelde waarden voor het effectief dosistempo (in  $\mu$  Sv/h) op één meter van de patiënt en in contact met de bagage, gemeten 5 dagen na toediening van 5.5 GBq I-131 (Mini Instruments met gecompenseerde GM buis). Bij zware contaminatie wordt de bagage (wasgoed) in bewaring gehouden op de dienst.

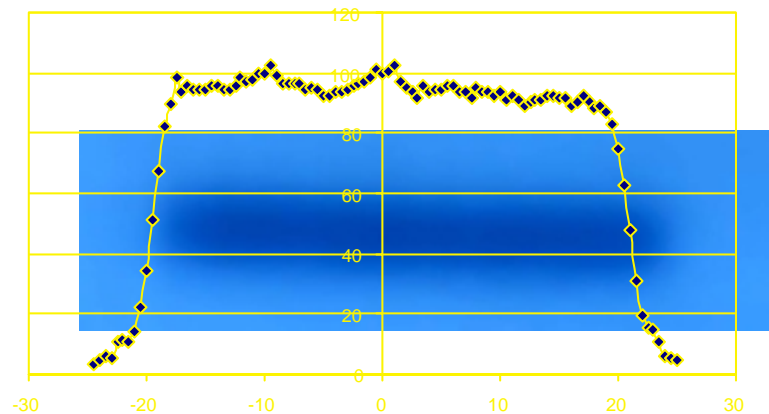


Fig.1: controle van de homogeniteit van een P-32 bron bet behulp van een Gaf-chromosche film.

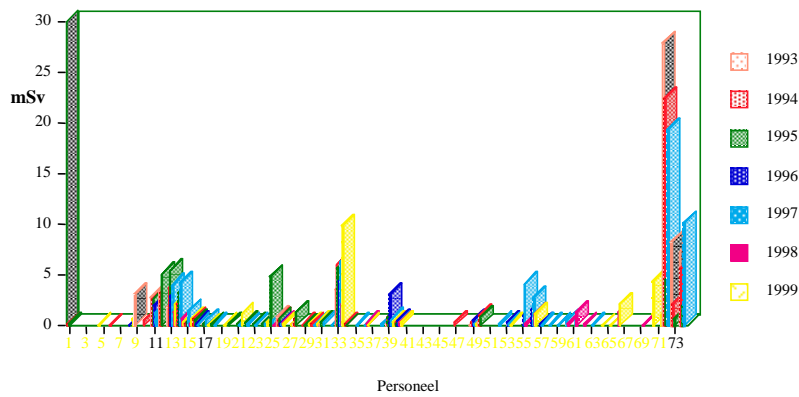


Fig.2: overzicht van de effectieve dosis voor alle personeelsleden werkzaam op de afdeling radiotherapie voor de periode 1993 – 1999. In alle gevallen ligt de effectieve dosis ruim onder de norm van 20 mSv. Personeelsleden die werkzaam zijn in de brachytherapie laten een hogere effectieve dosis opmeten en uiterst rechts de resultaten van vingerdosimeters gedragen tijdens de manipulatie van Ir-192 draad.

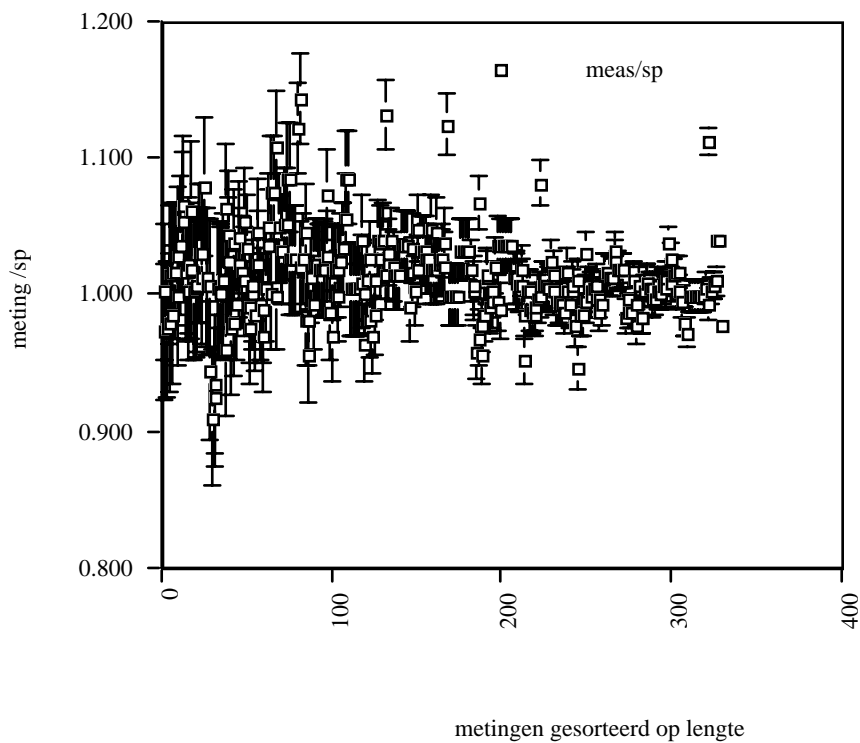


Fig.3: Verhouding van de gemeten- en de door de fabrikant gespecificeerde lineaire activiteit van Ir-192 draad (Amersham) in een putkamer (Viktoreen 34-070) voor meer dan 300 bronnen. De metingen werden gesorteerd op lengte: links bronnen met een van 2 cm en rechts tot 12 cm. De foutaanduiding heeft betrekking op een 1 mm nauwkeurigheid in bronlengte. Voor de behandeling wordt steeds de gemeten lineaire activiteit gebruikt.

## Referenties

- 1 ICRU report 24, Washington, 1976.
- 2 KWARTA : a regional quality assurance project in Radiotherapy within the province of Antwerp, Belgium.  
B. De Ost, L. Bellekens, R. Cardoen, H. Goossens, N. Mertens, D. Pieters, B. Schaeken, J. Vanregemorter, ISRO meeting on Quality Assurance, Wenen 1995.
- 3 Kwaliteitscontrole van Medische Lineaire versnellers; Rapport 8; Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie, 1995.
- 4 Code of practice for the dosimetry of high-energy photon beams; NCS report 2, 1986.
- 5 Absorbed dose determination in external beam radiotherapy, TRS 398, IAEA, Wenen, 2000.
- 6 Code of practice for the dosimetry of high-energy electron beams; NCS report 5, 1989.
- 7 Williams, Thwaites; Radiotherapy Physics; Oxford Med. Publ, 1993.
- 8 Medical electron accelerators, C.J. Karzmark, C.S. Nunan, E. Tanabe, Mc Graw-Hill inc., 1993.
- 9 Accuracy of dose calculations in megavoltage photon beams, J.L.M. Venselaar, PhD thesis, Delft, 2000.
- 10 Quality control of simulators and CT scanners and some basic QC methods for Treatment planning Systems, current practice and minimum requirements; NCS report 11, 1997.
- 11 Venselaar et al., Tolerances of the accuracy of the photon beam dose calculation performance of treatment planning systems used in a clinical setting., Rad&Onc , vol 60(2), 2001
- 12 "Physical beam modelling in the Pinnacle Planning system." B. De Ost, B. Schaeken, J. Vanregemorter, D. Van den Weyngaert. Abstracts in Proc. 14<sup>th</sup> Annual Symposium of BHPS, 1998
- 13 A consistent formalism for the application of phantom and collimator scatter factors, J. Venselaar et al., Phys. Med. Biol 44, 1999.
- 14 Monitor unit calculation for high energy photon beams, Physics for clinical radiotherapy N°3, Garant 1997.
- 15 Introducing NCS report 12 in clinical routine:consequences for manual MU calculation and beam calibration, B. Schaeken, B. De Ost, D. Van den Weyngaert, Proceedings of the 17<sup>th</sup> Symp. Of the Belgian hospital Physicists Association, Brussel, 2001.
- 16 Automated in vivo dosimetry : method and result after more than 4000 measurements. B. De Ost, E. Messens, P. Meijnders, D. Van den Weyngaert, 18<sup>th</sup> symposium of the Belgian Hospital Physicist Association, 2002.

- 17 Recommendations for the calibration of Iridium-192 HDR sources; Report 7, Venselaar, Aalbers, Brouwer, Meertens, Petersen, Schaeken, Visser, Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie, 1994.
  - 18 Aanbevelingen voor dosimetrie en QC van radioactieve bronnen bij brachytherapie, Rapport 4, Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie, 1989.
  - 19 “Activity measurements of Cs sources in LDR afterloading systems”, B. Schaeken, P. Scalliet, Proc.8<sup>th</sup> Annual Symposium of BHPS (poster),1992.
  - 20 Results of an Intercomparison of QA in Brachytherapy in Belgium and the Netherlands, B. Schaeken, RJM Elfrink, A. Rijnders, IKK Kolkman-Deurloo, HJ van Kleffens, AHL Aalbers, WJF Dries, JLM Venselaar, Abstract in Proc. 15<sup>th</sup> Annual Symposium of BHPS, 1999.
  - 21 Quality assurance in brachytherapy, AHL Aalbers, WLJF Dries, RJM Elfrink, IKK Kolkman-Deurloo, A Rijnders, B Schaeken, HJ van Kleffens, JLM Venselaar, Poster at 15<sup>th</sup> Annual Symposium of BHPS, 1999.
  - 22 Intercomparison of quality assurance in brachytherapy in The Netherlands and Belgium, RJM Elfrink, IKK Kolkman-Deurloo, HJ van Kleffens, AHL Aalbers, WJF Dries, C Mangold, A Rijnders, B Schaeken, JLM Venselaar, Radiotherapy&Oncology Vol 51 Suppl2, 1999.
  - 23 Development and implementation of minimum requirements for Quality Control (QC) in Brachytherapy in The Netherlands and Belgium. IKK Kolkman-Deurloo, RJM Elfrink, AHL Aalbers, WJF Dries, HJ van Kleffens, A Rijnders, B Schaeken, JLM Venselaar. Abstract 6<sup>th</sup> Biennial ESTRO Meeting on Physics for clinical Radiotherapy, Spain. Radiotherapy&Oncology Vol 61 Suppl 1, 2001.
  - 24 Determination of the accuracy of implant-reconstruction and dose delivery in brachytherapy in The Netherlands and Belgium. Robert J.M. Elfrink<sup>1</sup>, Inger-Karine K. Kolkman-Deurloo, Herman J. van Kleffens, Alex Rijnders, Bob Schaeken, Tony H.L. Aalbers, Wim J.F. Dries, Jack L.M. Venselaar. Radiother. Oncol. 59(3) p. 297-306, 2001.
  - 25 Quality Control in brachytherapy, current practice and minimum requirements, Rapport 13 van de Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie. R.J.M. Elfrink, I.K.K. Kolkman-Deurloo, H.J. Van Kleffens, A. Rijnders, B. Schaeken, T.H.L. Aalbers, W.J.F. Dries, J.L.M. Venselaar, NCS Report N° 13, nov 2000.
  - 26 Quality Control of brachytherapy equipment in The Netherlands and Belgium: current practice and minimum requirements, R.J.M. Elfrink, I-K kolkman-Deurloo, H.J. kleffens, A. Rijnders, B. Schaeken, T.H.L. Aalbers, W. J.F. Dries, J.L.M. Venselaar. Radiotherapy & Oncology, 62(1) p. 95-102, 2002.
-

- 27  $^{192}\text{Ir}$  brachytherapy sources in Belgian hospitals., B. Schaeken, F. Vanneste, A. Bouiller, MT Hoornaert, S. Vandebroek, J. Hermans, A. Pirin, Nucl. Instr. and Methods in Physics Research A312 (1992) 251-256.
- 28 Management of source preparation and storage for manually cut Iridium192 wires in brachytherapy, J. Vanregemorter, B. Schaeken, P. Scalliet.. Abstract, Proc. 5th Int. Brachy Symp. & Workshop on Brachtherapy&Afterloading, West Palm Beach MI, USA, may 1995.
- 29 “Results on verifying linear activity of Ir-192 wires in clinical routine”, B. Schaeken, P. Scalliet  
Proc. Annual Brachytherapy meeting GEC-ESTRO, 1991
- 30 “Specified versus measured Ir- source strength”: 400 cases, B. Schaeken, J. Van Dam, J. Vanregemorter, Abstracts in Proc. 10<sup>th</sup> Annual Symposium of BHPS, 1994
- 31 EPR-based dose measurements with alanine in clinical dosimetry.  
B. Schaeken. Radiotherapy & Oncology Suppl.1 vol 37, pp S30, 1995.
- 32 Possibilities of EPR-dosimetry in radiotherapy, B. Schaeken, B. De Ost, T. Borbely, P. Scalliet.  
Abstract AAPM meeting, Med. Phys. vol. 21 nr 6, pp944, 1994.
- 33 One Year of Experience with alanine dosimetry in Radiotherapy, B. Schaeken, P. Scalliet. Appl. Radiat. Isot. Vol. 47 N° 11/12, pp. 1177-1182, 1996.
- 34 “First results on the verification of dose distributions in the eye, treated with I-125 plaques.” B. Falise, B. Schaeken, S. Vynckier, P. Scalliet. Abstracts in Proc. 14<sup>th</sup> Annual Symposium of BHPS, 1998
- 35 Dosimetry of beta-ray ophtalmic applicators: Comparison of different measuring methods, C.G. Soares, S. Vynckier, H.Jrvinen, W.G. Cross, J. Hokkanen, P. Sipil, D. Flyhs, B. Schaeken, F. Moertada, G.A. Bass, T.T. Williams, Medical Physics, 28 (7), july 2001.
- 36 Dosimétrie in vivo par RPE en applications gynécologiques, B. Schaeken, B. De Ost, C. Goor, P. Scalliet, Bull. Cancer / Radither., vol. 81 (4), pp 469, 1994.
- 37 Results of routine measurements of rectal dose with alanine during LDR brachytherapy treatment.  
B. Schaeken, C. Goor, D. Van den Weyngaert. Radiotherapy & Oncology, vol. 39, suppl. 1, S28 nr. 110, 1996.
- 38 Routine measurements of dose to the bladder: still an utopy?  
B. Schaeken, C. Goor, D. Van den Weyngaert. Radiotherapy & Oncology, vol. 39, suppl. 1, S10 nr. 38, 1996.
- 39 IAEA, Safety Standards Series, safety guide n° RS-G-1.5, 2002.
- 40 Stralingsbescherming 97, EC, 1998.



## Résumé

### **Le contrôle de qualité en radiothérapie. Vue d'ensemble**

L'administration de radiations en radiothérapie doit, pour des raisons radiobiologiques, être effectuée avec des marges d'erreur très petites. C'est pourquoi, très tôt, des campagnes de sensibilisation ont été lancées dans les services de radiothérapie, pour mesurer, formaliser et contrôler les doses pendant les procédures d'administration, ceci dans le seul but de maintenir la qualité du traitement au plus haut niveau.

Il y a 15 années, bien avant la publication de l'arrêté royal ( AR, juillet 2001, et 97/43 Euratom), le service de radiothérapie de l'hôpital universitaire Middelheim à mis en place un programme de contrôle de qualité qui règle ces questions formellement.

La radiothérapie est un processus complexe qui englobe un ensemble d'aspects dont chacun comporte des difficultés spécifiques: la physique des radiation , la mesure et l'étalonnage des instruments et des appareils d'irradiation en téléthérapie et brachythérapie, les calculs de dose, la saisie et le traitement d'images (CT, MR, EPID). L'assurance de qualité sur l'ensemble du processus est donc une affaire à facettes multiples, lourde et compliquée. Les aspects principaux sont passés en revue.

## Abstract

### **Quality assurance in radiotherapy. An overview**

Administering radiation, is for radiobiological reasons, to be done with very small error margins. Therefore, at an early stage, awareness campaigns were launched inside the radiotherapy services to measure, record and monitor the doses while giving the treatment, this with the sole aim to keep high-quality performance treatment levels.

Fifteen years ago, well before the publication of the Royal Decree (July 2001, Euratom Directive 97/43), the radiotherapy service of the academic hospital Antwerp Middelheim enacted a quality control programme which deals with these questions formally.

Radiotherapy is a complex process encompassing many different aspects, all fraught with their own difficulties: radiation physics, measurement equipment and calibration, diverse irradiation apparatus, e.g. teletherapy (accelerators) and brachytherapy (afterloaders), Dose calculation algorithms, image processing (CT, MR, EPID). The principal aspects of this complex matter are presented.

## **IMAGE QUALITY IN CORRELATION WITH PATIENT DOSE IN RADIOLOGY**

**Klaus Bacher<sup>1</sup>, An De Hauwere<sup>1</sup>, Peter Smeets<sup>2</sup>, Koenraad Verstraete<sup>2</sup>, Hubert Thierens<sup>1</sup>**

(1) Ghent University, Department of Medical Physics and Radiation Protection  
Proeftuinstraat 86, 9000 Gent

(2) Ghent University Hospital, Department of Radiology  
De Pintelaan 185, 9000 Gent

### **Abstract**

In radiology, the image quality is the mean parameter for making an accurate diagnosis. However, radiology systems have to be optimized to keep the patient dose as low as reasonably achievable, without being detrimental for image quality. In combination with radiation dose measurements, a contrast detail phantom can be an interesting tool for the optimization of radiographic and interventional procedures. In this overview, the use of this contrast detail phantom will be demonstrated for image quality analysis in chest radiography and pediatric interventional cardiology.

### **Introduction**

In radiology, a good image quality is the mean parameter for making an accurate diagnosis. Image quality, however, is often based on subjective perception criteria of the human observer. In general, the radiologist has to be able to detect small details and to extract the useful information from a noisy background. Moreover, when using X-rays for medical imaging, the systems have to be optimized to keep the patient dose as low as reasonably achievable, without being detrimental for the image quality.

Many factors influence medical image quality, including acquisition technique, image processing, image presentation and viewing conditions. Although each of those components can be studied and optimized separately, the ultimate quality test is the diagnostic performance of the human observer [1]. However, clinical studies are difficult to implement and impractical for optimizing a diagnostic image modality. Therefore, the study of phantom images will play an important role in the image quality analysis and optimization.

### **Contrast-detail studies**

Two important parameters for the image quality are the resolution and the possibility to detect small contrast differences. A contrast-detail phantom can test both characteristics.

The CDRAD 2.0 phantom (Figure 1) developed by the University of Nijmegen is an example of such a contrast-detail phantom. The phantom is made of 10 mm acrylic and contains disc-shaped apertures logarithmically varying from 0.3-8.0 mm both in diameter and in depth. For apertures of diameter less than 5.0 mm, the phantom contains an additional aperture

positioned randomly in one of the four corners. The observer must select the location of the low-contrast object among the four positions. Hence, the phantom can be used to assess the minimum contrast required to visualize objects of different sizes above the noise threshold.[2] When making an acquisition of the phantom, it is placed between two layers of PMMA to simulate patient scatter. Afterwards, the resulting images (Figure 2) are scored by at least three independent readers, using a methodology as described by the manufacturer [3]. The minimum contrast differences visible for the observer (depth of the apertures) are then plotted as the function of the object diameter to form contrast-detail curves (Figure 3).

### **Image quality optimization**

In general, there is a correlation between the radiation exposure and the resulting image quality: the image quality will rise with an increasing radiation dose (Figure 4). However, there will be a maximum of image quality at a certain dose level, depending on the detector type (radiographic film or digital detectors). An acquisition with a radiation exposure higher than this threshold, will result in a degradation of image quality.

One has to take into account the maximum observer performance of the radiologist, because a higher image quality cannot be distinguished by the human observer. This is important, especially in the era of digital imaging techniques with a possible image quality above the maximum observer performance.

By combining a contrast-detail study with radiation dose measurements, one can obtain an empirical relation between the image quality and the patient dose for a specific X-ray modality.

Contrast-detail studies are very useful to compare different acquisition systems in an objective way. This was done to compare the image quality and radiation dose for three different radiography systems: a new full digital amorphous silicon flat-panel detector (FD), a state-of-the-art conventional screen-film (SF) and a storage phosphor-based computed radiography (CR) system. The contrast-detail study showed a significantly better low-contrast performance of the FD system, compared to the CR and SF systems (Figure 5). Additional dose measurements showed that a strong patient dose reduction was possible when using the FD system [4]

Contrast-detail studies are also used for the optimization of medical X-ray equipment. An image quality study could not detect significant differences in image quality when using an additional beam filtration (0.2 mm Cu extra) in interventional cardiology. Dose calculations proved a reduction of 20% in effective dose for the patient. Hence, additional filtration was advised, especially for pediatric procedures [5]

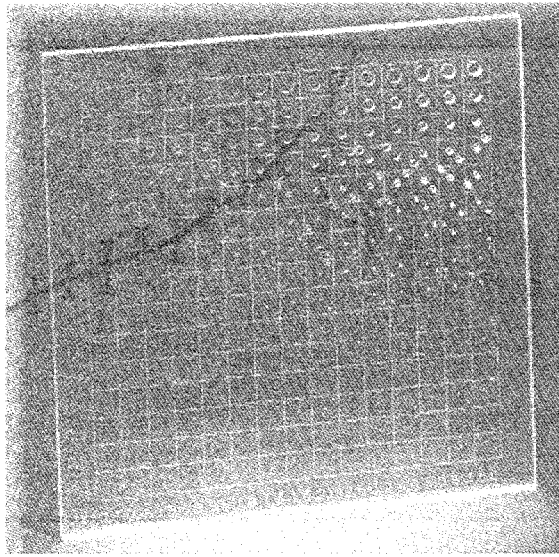
### **Conclusion**

An optimal image quality is crucial in radiology. However, when using X-rays for medical imaging, the systems have to be optimized to keep the patient dose as low as reasonably

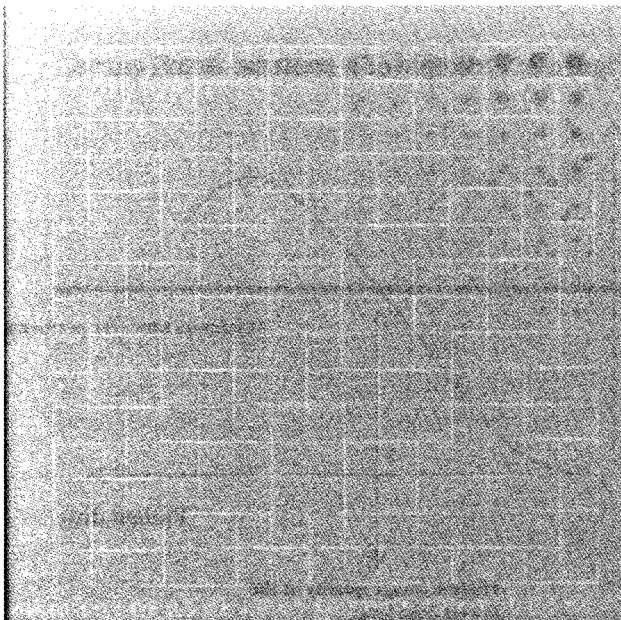
achievable (ALARA). A contrast-detail phantom can be an interesting tool for this optimization process.

## References

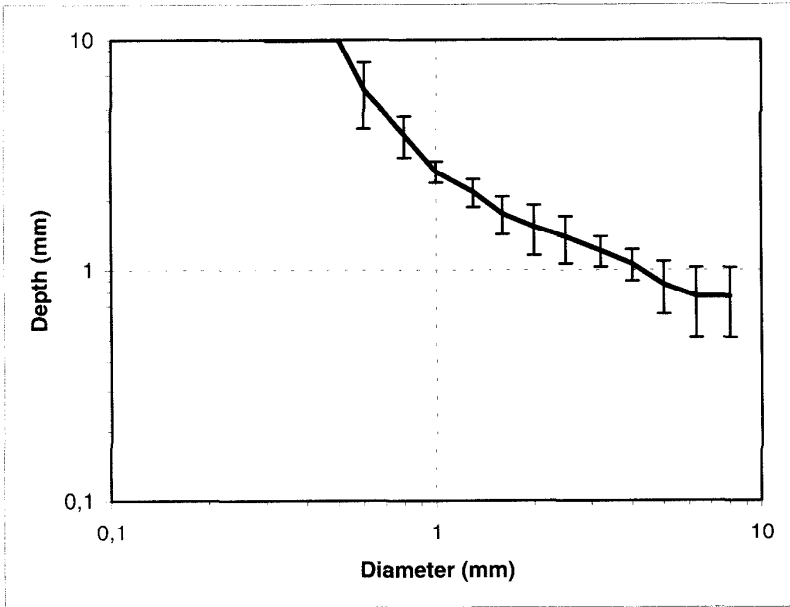
- [1] Reiner BI, Siegel EL and Carrino JA, eds. Quality Assurance - Meeting the Challenge in the Digital Medical Enterprise. Chapter 3. Digital Image quality: A Clinical Perspective. Great Falls, VA: Society for Computer Applications in Radiology; 2002.
- [2] Aufrechtig R. Comparison of low contrast detectability between a digital amorphous silicon and a screen-film based imaging system for thoracic radiography. *Med Phys* 1999; 26: 1349-1358.
- [3] Thijssen MAO, Bijkerk KR and van der Burght RJM. Manual Contrast-Detail Phantom CDRAD type 2.0. Project Quality Assurance in Radiology, Department of Radiology, University Hospital Nijmegen, St. Radboud, The Netherlands, 1998.
- [4] Bacher K, Smeets P, De Hauwere A, Verstraete K, Thierens H. Patient dose reduction with a digital amorphous silicon flat panel detector compared to conventional screen-film and phosphor-based computed radiography systems in chest imaging. *Radiology* 2002, 225 (P): 643 (abstract)
- (5) Bacher K, Seaux I, De Wolf D, Thierens H. Patient-specific Monte Carlo calculation of the effective dose in pediatric interventional cardiology. *Radiology* 2002, 225 (P): 644 (abstract)



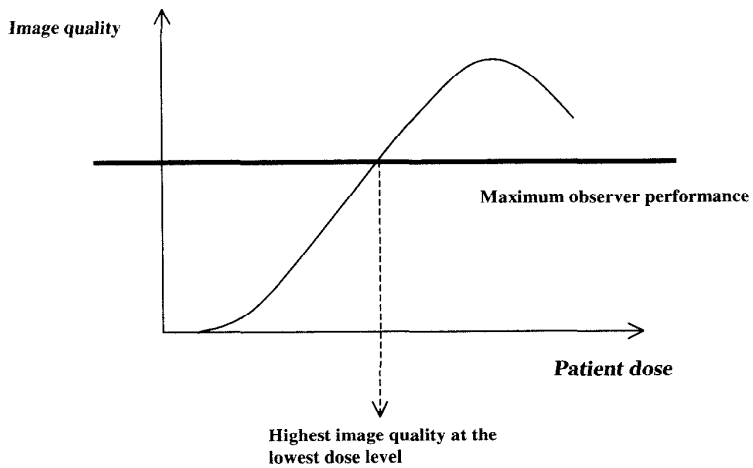
**Figure 1: The CDRAD version 2.0 phantom developed by the University of Nijmegen.**



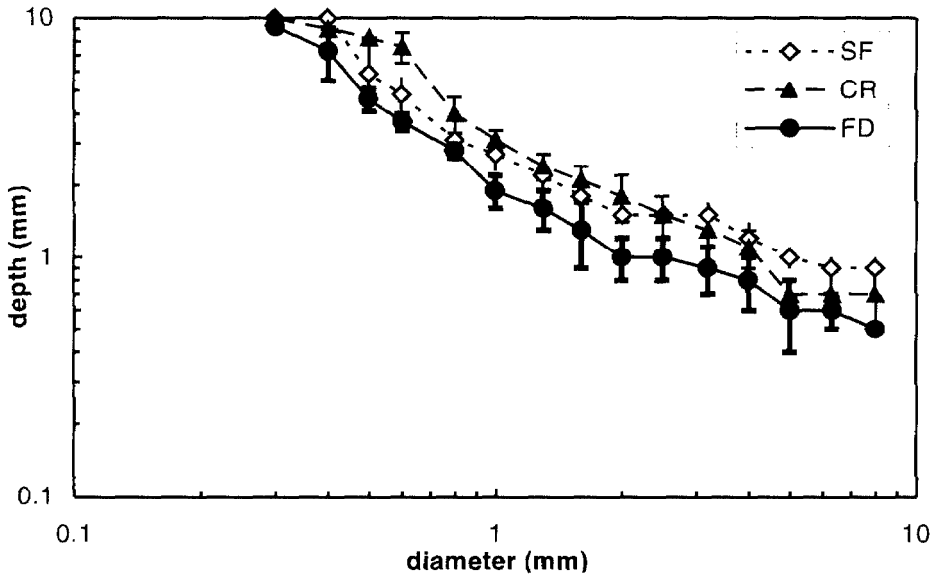
**Figure 2: Example of a radiographic acquisition of the CDRAD phantom.**



**Figure 3: Example of a contrast-detail curve.**



**Figure 4 Schematic relation between radiation dose and image quality.**



**Figure 5: Average experimental contrast-detail curves for the SF, CR and FD systems**

## **Résumé**

### **Qualité d'image et dose au patient en radiologie**

En radiologie, la qualité d'image est le paramètre principal pour établir un diagnostic précis. Cependant, l'appareillage radiologique doit être optimisé pour maintenir la dose au patient aussi basse que raisonnablement faisable, sans perte de qualité de l'image. En combinaison avec la mesure de la dose d'irradiation, le fantôme de contraste de détail est un outil important pour optimiser les procédures radiographiques et interventionnelles. L'utilisation de ce fantôme pour l'analyse de la qualité des images est illustrée pour la radiographie du thorax et en cardiologie d'intervention en pédiatrie.

## **Samenvatting**

### **Beeldkwaliteit en dosis aan de patiënt in de radiologie**

Beeldkwaliteit is de belangrijkste parameter voor een juiste diagnose. Echter dient de dosis aan de patiënt zo laag als redelijk mogelijk te zijn zonder dat de beeldkwaliteit eronder lijdt. In samenhang met de bepaling van de dosis is het fijncontrast fantoom een belangrijk hulpmiddel ter optimalisering van de radiografische en interventionele procedures. Het gebruik van dat fantoom wordt toegelicht aan de hand van de analyse van de beeldkwaliteit van borst radiografieën en voor de interventiecardiologie in de kindergeneeskunde.



## **STRALINGSBESCHERMING BIJ MEDISCHE TOEPASSINGEN: REGELGEVING EN KWALITEITSBEWAKING VANUIT HET FANC**

**H. Engels, L. Van Bladel**

Dienst Controle Medische Toepassingen, Federaal Agentschap Nucleaire Controle,  
Ravensteinstraat 36, 1000 Brussel

### **Samenvatting**

Hierbij zal een kort overzicht worden gegeven van de regelgeving (ARBIS, KB 20-07-01) die bepaalt:

- waar deze medische toepassingen mogen plaatsvinden (inrichtingen, installaties)
- aan welke voorwaarden de gebruikers dienen te voldoen (vergunde personen, radiofysici, helpers)
- welke kwaliteitsnormen / kwaliteitscriteria worden ontwikkeld om de stralingsbescherming van de patiënt te optimaliseren

Vervolgens zal worden voorgesteld hoe op een aantal aspecten hiervan concreet zal toegezien worden door het FANC (controlebezoeken ziekenhuizen, vorming).

Dit artikel beperkt zich tot het geven van een kort overzicht van de regelgeving (ARBIS, K.B. van 20 juli 2001) en de kwaliteitsbewaking vanuit het Federaal Agentschap van Nucleaire Controle (FANC) in verband met het gebruik van ioniserende straling voor medische doeleinden en de daaruit voortvloeiende vereisten om een adequate stralingsbescherming te kunnen garanderen.

De regelgeving bepaalt waar deze medische toepassingen mogen plaatsvinden (inrichtingen, installaties) en aan welke voorwaarden de gebruikers ervan dienen te voldoen (vergunde personen, stralingsfysici, helpers). Naast het beschermen van publiek en gezondheidswerkers, zullen ook kwaliteitscriteria om de stralingsbescherming van de patiënt te optimaliseren opgesteld worden.

### **1. Regelgeving op het niveau van de inrichting-installatie:**

Een vergunning afgeleverd door het FANC is noodzakelijk vooraleer een dienst radiologie, radiotherapie of nucleaire geneeskunde operationeel kan zijn. Operatiekamers, catheterisatielabo's etc. waar nieuwe medische toepassingen zoals het inplanten van I-125 zaadjes voor behandeling van prostaatkanker, 'intravasculaire brachytherapie', 'sentinel lymph node' procedure, of nieuwe 'metabole therapieën' plaatsvinden moeten zich wettelijk in regel stellen en een klasse II vergunning aanvragen, ook al vereist dit in een aantal gevallen de nodige aanpassingen aan de betrokken lokalen en uitrustingen om zowel besmettingen met radionucliden als onnodige bestralingen te voorkomen (Hfdst II, ARBIS).

Een gunstig opleveringsverslag bij ingebruikname is vereist (art 15, ARBIS).

Een dienst fysische controle, eventueel uitbesteed aan een Erkende Instelling, is noodzakelijk om alle gepaste maatregelen en voorzieningen qua stralingsbescherming te garanderen. Voor bepaalde diensten is voltijds de aanwezigheid van een deskundige medische stralingsfysica vereist (art 51.7, ARBIS).

Toezicht hierop wordt verzekerd via controlebezoeken op het terrein door een Erkende Instelling (minimum periodiciteit bepaald, art 23.9, ARBIS) en door de nucleaire inspecteurs van het FANC.

## **2. Kwaliteitsbewaking/controle op het niveau van de gebruikte ‘toestellen’**

Dit houdt onder andere in:

- goedkeuring bij ontvangst door de dienst fysische controle (art 23, ARBIS)
- het opstellen van een opleveringsverslag door de deskundige in de medische stralingsfysica (art 51.6.4, ARBIS)
- jaarlijkse controle van alle gebruikte toestellen met in acht name van ‘aanvaardbaarheidscriteria’ (art 51.6.5, ARBIS)
- procedures voor (routinematig) kwaliteitscontrole moeten beschikbaar zijn en strikt worden toegepast.

Ook hierop wordt toegezien door een Erkende Instelling en door het departement Toezicht en Controle van het FANC.

## **3. Regelgeving en Q.A. op het niveau van de ‘gebruikers’ en hun ‘helpers’, de deskundige in de medische stralingsfysica**

Gebruik maken van ioniserende straling voor medische doeleinden is gebonden aan bepaalde voorwaarden.

Artsen, verpleegkundigen en andere gezondheidswerkers moeten voldoen aan bepaalde opleidingseisen en over de nodige vergunningen/erkenningen beschikken (1). Voor zowel radiotherapeuten als nucleaire geneeskundigen is deze persoonlijke vergunning die na advies van de medische jury door het FANC wordt verstrekt beperkt tot bepaalde locaties. Er wordt ook gespecificeerd of de vergunning betrekking heeft op diagnostische en/of therapeutische handelingen, eventueel worden de radio-isotopen waarvan het gebruik wordt toegelaten in de vergunning beschreven.

Dit betekent concreet voor nieuwe therapeutische technieken zoals intravasculaire brachytherapie, prostaatimplant met I-125 zaadjes etc... dat de behandelende arts-specialist (uroloog, cardioloog...) voor het uitvoeren van deze technieken dient bijgestaan te worden door een radiotherapeut of specialist in de nucleaire geneeskunde, met aangepaste

vergunning. Eventueel dienen zij daarvoor een uitbreiding van de bestaande vergunning aan te vragen (therapeutisch gebruik van radioisotopen voor oncogene aandoeningen, bijkomende radioisotopen, nieuwe locaties... ). Bovendien dienen deze gebruikers zich te laten bijstaan door een deskundige in de medische stralingsfysica (art 51.7, ARBIS) met eveneens een aangepaste vergunning.

Aangezien het niet de bedoeling kan zijn om patiënten te benadelen door hen bepaalde behandelingsmogelijkheden waarbij zij gebaat kunnen zijn te ontzeggen op grond van strikt juridische overwegingen, kan het FANC begrip opbrengen voor nieuwe therapeutische evoluties, maar wenst toch ook in het belang van zowel gezondheidswerkers als patiënten en publiek te streven naar het vermijden van onnodige blootstellingen.

Verpleegkundigen en paramedici ('helpers') moeten kunnen aantonen dat ze een bijkomende opleiding zoals beschreven in art 53.2 van het ARBIS gevolgd hebben.

Voor vrijwel alle beroepsgroepen uit de medische sector is de verplichting tot permanente vorming in de regelgeving opgenomen. Deze wordt bij voorkeur georganiseerd in nauw overleg met de betrokken 'stakeholders'. Hetzij op regelmatige basis, hetzij 'on demand' volgens de nieuwe evoluties in een bepaald vakgebied. Voor sommige disciplines maakt het volgen van 'bijscholingen' trouwens deel uit van een accrediteringssysteem.

Daarenboven gelden ook bij het gebruik van medische toepassingen van ioniserende straling een aantal algemene principes (art 51, ARBIS) :

- 'Justificatie' is noodzakelijk, wat behalve bij de 'gebruiker' ook een verantwoordelijkheid legt bij de voorschrijver van de behandeling (2). Sensibilisatie en motivatie van verwijzende artsen zijn hierin wellicht belangrijker dan een controlerende en sanctionerende houding van overheidswege. Initiatieven vanuit de betrokken beroepsgroepen worden dan ook zeker aangemoedigd. Zo worden bijvoorbeeld in de Belgische context momenteel voorschrijfcriteria m.b.t. de radiologie getest en uitgewerkt.
- Om tot optimalisatie van patiëntenblootstelling toe te kunnen komen worden gestandaardiseerde werkprocedures aanbevolen en het streven naar beperking tot maximaal de 'diagnostic reference levels' van blootstelling. In het ARBIS wordt de verantwoordelijkheid voor het bepalen van deze 'referentieniveaus' bij het FANC gelegd. Samenwerking met geïnteresseerde beroeps- en wetenschappelijke verenigingen, onderzoeksinitiatieven en communicatie met andere Europese landen zijn hierbij zeker welkom.
- Effectieve controle van gezondheidswerkers als 'blootgestelde werknemers' en het daarbij in acht nemen van dosislimieten en/of dosisbeperkingen, vereisen het zoeken naar optimale beschermingsmiddelen. Een goede communicatie tussen arbeidsgeneeskundigen en (para)medici is daarbij onontbeerlijk.

Naast het strikt 'controleren' van vergunningen en opleidingsvereisten kunnen ook deze aspecten aan bod komen tijdens de controlebezoeken van het FANC. Het uitoefenen van politionele bevoegdheden is daarbij namelijk niet de eerste bedoeling, wel om onder andere

via het geven van adviezen en aanbevelingen tot een constructieve samenwerking met de actoren op het terrein te kunnen komen.

#### **4. ‘Inspectiebezoeken’ door het departement Toezicht en Controle van het FANC.**

Wat de dienst Controle Medische Toepassingen betreft werden volgende prioriteiten (in dalende volgorde) bepaald:

- Inspectiebezoeken naar aanleiding van een ‘klacht’, aangifte, melding (vaak betreft het hier een klacht in verband met afvalwater, verbranding van ziekenhuisafval...)
- ‘Geplande bezoeken’ :
  - diensten nucleaire geneeskunde (hoogste prioriteit)
  - diensten radiotherapie
  - diensten radiologie, met bijzondere aandacht voor de zogenaamde ‘hoge dosistechnieken’ zoals CT scan, bij gevoelige groepen zoals jonge kinderen
  - ‘at random’ controles van andere toepassingen (tandradiografie bij tandartsen...).
- Inspectiebezoeken in functie van ‘sensibilisatiecampagnes’, zoals de volgende te verwachten campagnes :
  - naar veeartsen toe
  - naar artsen-specialisten toe, die binnen hun discipline - die verschillend is van de radiologie - gebruik maken van ioniserende straling (‘connexisten’).

Een gestandaardiseerde werkwijze + rapportering wordt ondertussen binnen het FANC uitgewerkt. Dit houdt een samenwerking in tussen de volgende diensten:

- dienst controle medische toepassingen
- dienst controle ingedeelde inrichtingen
- dienst controle transport
- dienst vergunningen medische toepassingen

De bezoeken kunnen uitgevoerd worden door inspecteurs die behoren tot de verschillende ‘controlediensten’, samen of apart.

Gegevensbanken (vergunningstelsel voor inrichtingen/installaties en personen, inspectieverslagen....) die door de inspecteurs tijdens het controlebezoek –‘vanuit het terrein’- zullen kunnen geconsulteerd worden, zijn in ontwikkeling.

#### **5. Naar de toekomst toe...**

Om aansluiting te zoeken bij verschillende kwaliteitsinitiatieven van overheidswege en overlapping te vermijden, is naar de toekomst toe overleg gepland met andere instanties zoals de federale overheidsdienst (F.O.D.) van Volksgezondheid, de Colleges van Geneesheren voor de dienst radiotherapie, de Colleges van Geneesheren voor de zorgprogramma’s waaronder cardiale pathologie e.a. .

Ook met het R.I.Z.I.V. zal contact worden opgenomen, bvb. met het paritair comité nucleaire geneeskunde.

Dit alles om te kunnen komen tot een uitwisseling van gegevens, het afstemmen van het verzamelen van gegevens en het eventueel uitwerken van gemeenschappelijke kwaliteitsindicatoren .

## Referenties

- (1) Janssens H., Engels H., Stralingsbescherming bij Medische Blootstelling, Annalen Belgische Vereniging Stralingsbescherming, vol 27, 3, 149-162, 2002
- (2) Commission Européenne, Direction générale de l'environnement, Recommandations en matière de prescription de l'imagerie médicale, Radioprotection 118, Luxembourg, 2000

## Résumé

La protection contre les radiations ionisantes dans les applications médicales: La réglementation et son contrôle par l'AFCN

Un court aperçu est donné du règlement (RGPRI, AR du 20 07 2001). Il fixe

- où les applications médicales peuvent être faites (institutions, installations)
- quelles sont les conditions d'utilisation (personnes agréées, personnel auxiliaire, radiophysicien)
- quels sont les normes de qualité et les critères utilisés pour optimiser la radioprotection du patient.

La manière dont l' AFCN effectuera les contrôles d'un certain nombre d'aspects sera abordée.

## Abstract

Radiation Protection in Medical Applications: regulation and quality monitoring by the Federal Agency for Nuclear Control, FANC

A short review is presented of the regulation, 'General Regulation for the Protection against Ionising Radiation' (GRPIR, Royal Decree of 20 July 2001). It lays down

- where medical applications may take place (institutions, installations)
- which conditions must be fulfilled by the users (agreed and auxiliary personnel, agreed radiophysicist)
- which quality standards and criteria are used to optimise radioprotection of the patient.

The ways and means used by FANC to achieve compliance controls on specific aspects is presented.