

OPTIMISATION EN SCANOGRAPHIE PEDIATRIQUE ET ADULTE

Jean Luc REHEL, Pascale SCANFF, Bernard AUBERT
IRSN/DRPH/SER/UEM, BP 17, 92262 Fontenay-aux-Roses cedex

Les dispositions réglementaires relatives à la radioprotection du patient découlant de la transposition de la DE 97-43 conduisent à la mise en œuvre d'une démarche d'optimisation (article L. 1333-1 du code de la santé publique), ainsi qu'à la nécessité de connaître les doses délivrées lors des procédures diagnostiques. Dans ce cadre, une étude dosimétrique a été menée au centre médico-chirurgical de Marie Lannelongue en scanographie pédiatrique et adulte au cours de procédures cardiaques et pulmonaires pour lesquelles la qualité de l'image a été évaluée par le radiologue.

Les objectifs de cette étude étaient :

- de préciser les informations dosimétriques fournies par le scanner et de s'assurer en particulier de leur adaptation aux examens pédiatriques, et
- de faire le lien entre ces indicateurs mesurés sur fantôme et les doses à la peau effectivement mesurées sur patient.
- de valider une démarche d'optimisation entreprise dans le cadre de procédures cardiaques et pulmonaires chez l'enfant et l'adulte

I. Matériel et méthodes

Le matériel utilisé et les méthodes appliquées avaient pour but de :

- Effectuer la qualification dosimétrique du scanner Siemens « Sensation 16 », par la mesure des index de dose de scanographie pondérés normalisés (nCTDI_w) dans les fantômes cylindriques standards de 16 et 32 cm de diamètre.
- Réaliser les mesures des nCTDI_w dans les fantômes « pédiatriques » de 10, 13, 16 et 20 cm de diamètre afin de disposer de données pour l'évaluation des doses délivrées aux enfants.
- Comparer les grandeurs dosimétriques obtenues à l'aide :
 - d'une chambre d'ionisation de type « crayon » de 10 cm de longueur ;
 - des index dosimétriques affichés sur la console du scanner ;
 - de dosimètres thermoluminescents placés en surface des différents fantômes.
- Déterminer par le calcul, à partir des nCTDI_w mesurés sur fantôme, les valeurs des index dosimétriques spécifiques à différents protocoles cliniques en :
 - scanographie cardio-Pédiatrie
 - scanographie cardio-Adulte
- Déterminer à partir d'une dosimétrie par thermoluminescence réalisée sur patient, les doses délivrées, dans le cadre de la réalisation de différents protocoles en :
 - scanographie cardio-Pédiatrie
 - scanographie cardio-Adulte

I.1. Matériel de mesure

Deux types de matériel de mesure de dose ont été utilisés : une chambre d'ionisation et son électromètre associé pour les mesures sur fantômes, et les dosimètres thermoluminescents pour les mesures sur fantômes et sur patients.

- l'électromètre et la chambre d'ionisation

Le système de mesure est constitué d'une chambre d'ionisation PTW 30009-0103 de type « crayon », de 10 cm de longueur, connectée à un électromètre PTW Unidos. L'ensemble a été étalonné en mGy.cm (certificat d'étalonnage FP-04-44 du 19 juillet 2004).

-Les dosimètres thermoluminescents

L'évaluation dosimétrique a été réalisée à l'aide de dosimètres thermoluminescents (DTL) de type GR 200 A (LiF : Mg, Cu, P). Ces détecteurs permettent, dans les conditions réelles de l'examen, une mesure localisée de la dose absorbée en surface ou dans un fantôme.

-les fantômes de dosimétrie

Des fantômes cylindriques de polyméthyle méthacrylate (PMMA) de diamètre différents ont été utilisés pour la détermination des index de dose de scanographie. Leur modélisation et diamètre sont rappelés dans le tableau I.

Tableau I : modélisation approchée du corps humain à partir de fantôme cylindriques selon Shrimpton et Wall [1].

Ø du cylindre	Tête	Corps
32 cm	-	Adulte
20 cm	-	Enfant de 5 à 10 ans
16 cm	Adulte Enfant à partir de 5 ans	Enfant de 1 à 5 ans
13 cm	Enfant de 6 mois à 5 ans	Enfant de 6 à 12 mois
10 cm	Né à quelque mois	Nouveau né à quelques mois

I.2. Méthode

Deux types de données dosimétriques ont été mesurés et calculés : les index de dose scanner au moyen de la chambre d'ionisation et les doses à la surface et à la peau des patients au moyen des DTL.

- Mesure des index de dose scanner (CTDI)

Les CTDI (Computed Tomography Dose Index) sont mesurés pour une rotation du tube sur 360°, pour une collimation du faisceau de rayons X donnée équivalente à 16 fois l'épaisseur de coupe nominale de 0,75 mm ou 1,5 mm, et une tension donnée. Pour des raisons de précision de mesure, celles-ci sont effectuées pour une charge de 300 mAs puis normalisées à 100 mAs.

Les CTDI sont mesurés au centre (CTDI_c) et en 4 points de la périphérie (CTDI_p) des fantômes cylindriques de PMMA de diamètres différents au moyen de la chambre « crayon ». Les fantômes sont placés directement sur la table du scanner et alignés avec les lasers sur l'axe de rotation. Les CTDI_p, dont le point de mesure est situé à 1 cm de profondeur, serviront de valeur de comparaison aux valeurs de dose obtenues en surface des fantômes.

Le CTDI_w pondéré est déduit des valeurs au centre et en périphérie par la formule :

$$\text{CTDI}_w \text{ (mGy)} = 1/3 \text{ CTDI}_c + 2/3 \text{ CTDI}_p$$

Le CTDI pondéré normalisé (nCTDI_w) est le CTDI_w exprimé généralement pour 100 mAs.

Le CTDI volumique est l'indicateur présent sur tous les scanners les plus récents. Il prend en compte le CTDI_w et le « pitch » (rapport entre le déplacement de la table et la collimation du faisceau) de la séquence d'acquisition :

$$\text{CTDI}_{\text{vol}} = \text{CTDI}_{\text{w}} / \text{pitch}$$

Dans cette étude le « pitch » étant toujours égal à 1, il en résulte que :

$$\text{CTDI}_{\text{w}} = \text{CTDI}_{\text{vol}}$$

- Mesures par dosimètres thermoluminescents

Cette dosimétrie est réalisée à l'aide de DTL sous forme de pastilles de type GR 200A (LiF : Mg,Cu,P) Les DTL ont été placés à la surface des fantômes de Ø différents et au centre de la longueur irradiée.

Pour chaque procédure clinique, 4 DTL ont été juxtaposés parallèlement à l'axe des Z sur la peau du patient. La dose résultante pour chaque mesure est donc la moyenne de 4 mesures.

II. Résultats

Les résultats concernent successivement : l'étude sur la caractérisation du scanner et l'influence des différents diamètres de fantômes, l'étude dosimétrique des différents protocoles cliniques sur fantômes, d'une part, pour les procédures standards et, d'autre part, pour les procédures optimisées, et enfin, l'étude dosimétrique sur patients.

II.1 Caractérisation dosimétrique du scanner sur fantômes dosimétriques de différents diamètres

Dans le tableau II, sont précisés les valeurs des nCTDI_w en mGy/100 mAs pour différents paramètres d'irradiation (haute tension et collimation). Ces valeurs sont aussi comparées avec les CTDI_{vol} affichés à la console et aux données constructeurs.

Tableau II: Valeurs des CTDI pondérés normalisés (nCTDI_w) en mGy/100 mAs pour différents paramètres d'irradiation (haute tension et collimation). Les valeurs entre parenthèses correspondent au CTDI_w affiché à la console et/ou données constructeur (souligné).

Tension	80 kV		100 kV		120 kV		140 kV	
Collimation	16x0,75 (12 mm)	16x1,5 (24 mm)	16x0,75 (12 mm)	16x1,5 (24 mm)	16x0,75 (12 mm)	16x1,5 (24 mm)	16x0,75 (12 mm)	16x1,5 (24 mm)
Fantôme								
32 cm	2,4	2,2	4,9	4,4	7,5	6,8	11	9,8
BL*	(2,6/2,6)	(2,2/2,2)			(8/7,8)	(7,2)	(11,3)	(10,2)
20 cm	4	3,7	8,3	7,3	12,2	11,1	27	24,7
BL	(2,6)	(2,2)			(8)			
16 cm	4,8	4,2	9,9	8,9	14,5	12,9		
BL	(2,6)	(2,2)			(8)			
16 cm	7,1	6,7	13,3	11,8	19,4	17,7		
HL**	(8,4)	(7,6)			(21,1)	(19,2)		(26,4)
13 cm	5,4	4,8	10,6	9,4	15,9	14,3		
BL	(2,6)	(2,2)			(8)			
10 cm	6,2	5,5	11,7	10,4	18,8	16,7		
BL	(2,2)	(2,2)			(8)			

* : BL : Body Large

** : HL : Head Large

II.2 Evaluation dosimétrique sur fantôme des différents protocoles standards

Le tableau III présente les valeurs (en mGy) des

- CTDI vol et CTDI_p mesurés à la chambre d'ionisation,
- du CTDI vol affiché à la console du scanner, et
- de la dose mesurée par DTL normalisée à 100 mAs.

Ces valeurs sont indiquées pour différents diamètres de fantôme, à différentes tensions et pour les différents protocoles utilisés en routine clinique.

Tableau III : Valeurs (en mGy) des CTDI vol et CTDI_p mesurés à la chambre d'ionisation, du CTDI vol affiché à la console du scanner et de la dose mesurée par dosimètres thermo-luminescents normalisés à 100 mAs, pour les différentes procédures cliniques retenues.

Procédure scanner	Ø cm	Tension (kV)	Collimation (mm)	CTDI _{vol} affiché (mGy)	CTDI _{vol} mesuré (mGy)	CTDI _p mesuré (mGy)	Dose à la surface DTL (mGy)
APSO*	10	80	16 x 0,75	2,6	6,2	6,4	5,7
APSO	13				5,4	5,5	5,1
APSO	16				4,8	5,0	5,0
APSO	20				4,0	4,3	4,4
Pulm	32	80	16 x 1,5	2,2	2,2	2,7	2,6
Cardio <i>ECG Pulsing</i>	32	120	16 x 0,75	8,0	7,5	9,0	7,2
Cardio <i>standard</i>					7,5	9,0	9,0

*APSO : Atrésie pulmonaire à septum ouvert.

Compte tenu des paramètres utilisés le CTDI_{vol} affiché devrait être égal au CTDI_{vol} mesuré. On remarque que ce n'est pas le cas pour les procédures pédiatriques.

II.3. Evaluation dosimétrique sur fantômes des différents protocoles cliniques optimisés.

Différents protocoles cliniques, adultes et pédiatriques, ont été comparés aux protocoles cliniques recommandés par le constructeur :

- Protocole « Thorax Adulte »
- Protocole « Cardio-coronaires »
- Protocole « APS0 80 kV ».

Cette étude a été réalisée sur le fantôme cylindrique de Ø 32 cm représentant l'adulte (tableaux IV et V), et sur les fantômes cylindriques de Ø 10 à 20 cm représentant l'enfant de 3 à 40 kg (tableau VI).

Tableau IV : Comparaison des CTDI périphériques et des mesures de dose DTL (mGy) en surface pour le protocole « Thorax Adulte » configuration : 16 x 1,5mm-Ø 32 cm.

Tension (kV)	Courant (mAs eff)	CTDI periph (mGy)	DTL (mGy)
80	135	3,64	3,52
80	180	4,86	4,70
120*	90	7,30	7,04

* : Protocole recommandé par le constructeur

Tableau V : Comparaison des CTDI périphériques et des mesures de dose DTL (mGy) en surface pour procédure Cardio-coronaires standard.

Configuration : 16 x 0,75 mm-fantôme Ø 32 cm (Protocole « Cardio-coronaires »).

Tension (kV)	Courant (mAs eff)	CTDI vol (mGy)	DTL (mGy)
80	350	9,5	9
100	500	29,6	28,5
120*	550	49,5	48,4
140	500	63,0	61,6

* : Protocole recommandé par le constructeur

Si la diminution de la dose par la baisse du nombre de mAs est généralement la méthode appliquée, la baisse de kilovoltage est aussi à prendre en compte dans le cadre de l'optimisation en scanographie.

Tableau VI : Comparaison des CTDI périphériques et des mesures de dose DTL (mGy) en surface pour procédure Atrésie pulmonaire à septum ouvert (Protocole « APS0 80 kV ») pour les fantômes de 10 à 20cm de diamètre.

Poids (kg)	Ø fantôme (cm)	Courant (mAs eff)	CTDI periph. (mGy)	Dose en surface DTL (mGy)
3	10	30	1,99	1,65
10	13	50	2,25	2,56
15 à 20	16	70	3,52	3,47
40	20	90	3,87	3,96

II.4. Evaluation dosimétrique en surface sur patient

Les tableaux VII et VIII présentent, respectivement chez les adultes et les enfants, l'exposition de la peau lors de procédures « cardiologiques » en différentes configurations. Les valeurs rapportées (en mGy) concernent le CTDIvol indiqué à la console et le résultat des mesures à la peau par DTL. Dans le tableau VII, la valeur du produit dose.longueur (PDL) a également été portée. Cet indicateur dosimétrique peut être relié à la dose efficace.

Tableau VII : Comparaison des CTDIvol (mGy) relevés à la console et des doses à la peau (mGy) au cours de procédures « cardio. » sur des patients adultes.

Configuration : 16 x 0,75 mm à 120 kV, 100 kV et 80 kV.

Procédure scanner	Tension (kV)	Courant (mAs eff)	CTDIvol (mGy)	Dose peau DTL (mGy)	PDL (mGy*cm)
Cardio. sans ECG pulsing (2 patients)	120	540	45,3	57,8	720
Cardio. avec ECG pulsing (7 patients)	120	335	28,1	38,4	460
Cardio. avec ECG pulsing (2 patients)	100	331	17,3	28,3	249
Cardio. avec ECG pulsing (1 patient)	80	498	14	21,7	179

**Tableau VIII : Comparaison des CTDIvol (mGy) relevés à la console, des CTDI_p et des doses à la peau au cours de procédures «cardiologiques» pédiatriques
Configuration : 16 x 0,75 mm et 16 x 1,5 mm à 80 kV**

Courant (mAs eff)	Dose peau TLD (mGy)	CTDI _p calculé (mGy)	CTDI _{console} (mGy)	Rapport CTDI _p /CTDI console
35	1,9	2,1*	0,9	2,3
48	2,2	2,9*	1,3	2,2
48	2,3	2,9*	1,3	2,2
30	1,8	1,8*	0,8	2,3
45	2,3	2,7*	1,2	2,3
35	2	2,1*	0,9	2,3
25	1,5	1,5*	0,7	2,1
17	0,9	1,0*	0,4	2,5
45	2,5	2,7*	1,2	2,3
45	2,0	2,3**	1,2	1,9
35	2	2,1*	0,9	2,3
40	1,4	1,9 ^o	0,9	2,1
20	1,1	1,2*	0,5	2,4

(*) CTDI_p en fantôme de diamètre 10 cm et (**) CTDI_p en fantôme de diamètre 13 cm.

(^o) configuration 16*1,5 mm

III Discussion et conclusion

Divers paramètres d'acquisition sélectionnables par l'opérateur : tension, collimation, diamètre du fantôme, choix du foyer et de la région anatomique jouent sur la variation du nCTDI_w.

Les nCTDI_w publiés par le constructeur (valeurs (--) soulignées du tableau II), sont respectivement pour le crâne (HL) et le corps (BL) de 19,2 et 7,2 mGy pour une haute tension de 120 kV et une collimation de 16x1,5 mm. L'écart entre les valeurs « constructeur » et celles mesurées en site clinique, toujours inférieur à 10 %, est acceptable.

Les valeurs CTDI_{vol} affichées à la console du scanner correspondent, pour le corps entier, à un CTDI_w dans un fantôme Ø 32 cm (valeur du tableau II entre parenthèses). Pour une tension de 80 kV et une configuration de 16 x 0,75 mm, on mesure 2,4 mGy pour 2,6 mGy affiché à la console soit un écart de 8 %, acceptable.

Dans un fantôme de 32 cm les valeurs affichées à la console sont en bon accord avec le CTDI_w calculé, à savoir :

- ↪ 80 kV → 2,2 mGy calculé pour 2,2 affiché (collimation 16 x 1,5 mm)
- ↪ 120 kV → 7,5 mGy calculé pour 8,0 affiché (collimation 16 x 0,75 mm)

L'écart entre les valeurs de doses calculées et affichées à 120 kV, dans un fantôme de 32 cm, est de l'ordre de 6%, acceptable en radiologie.

Le tableau IX présente la variation du nCTDI_w en fonction de la tension(kV), normalisée pour la valeur à 120 kV, une collimation 16 x 0,75 mm et un fantôme de 32 cm de Ø. On retrouve les facteurs de variation généralement connus pour les scanners.

Tableau IX : Variations du nCTD_w pour une épaisseur de coupe de 16 x 0,75 mm en fonction de la tension (normalisation à 120 kV).

Tension (kV)	80	100	120*	140
nCTD _w (tension)/nCTD _w (120 kV)	0,32	0,65	1	1,4

* à 120 kV : nCTD_w = 7,5 mGy

Le CTD_w diminue d'un facteur $\approx 0,9$ quand on passe d'une configuration de 16 x 0,75 mm à 16 x 1,5 mm :

$$\text{CTD}_{w} (16 \times 1,5 \text{ mm}) = 0,9 \times \text{CTD}_{w} (16 \times 0,75 \text{ mm})$$

Cela peut s'expliquer par une contribution à la dose de la pénombre d'autant plus faible que la collimation est large.

Le nCTD_w augmente quand le diamètre du fantôme diminue dans des conditions d'irradiation identiques. Cette augmentation, due à une atténuation moins importante, est estimée à environ 5 % par diminution de 1 cm de Ø des fantômes, compris entre 16 et 10 cm. On peut voir que l'indicateur dosimétrique fourni par le scanner donne une sous-estimation de la dose pouvant atteindre un facteur 2,5 pour le fantôme représentant un nouveau-né (Ø 10 cm). Des observations similaires ont été rapportées dans l'étude de C. Di Bartelo [2]. Par contre les valeurs de dose à la peau obtenues par DTL sont proches du CTD_p calculé.

Les acquisitions cardiaques pédiatriques réalisées sur des fantômes de différents diamètres et à paramètres identiques (tableau III), montrent que les valeurs de dose CTD_p mesurées par la chambre d'ionisation sont très proches des valeurs de dose obtenue par DTL en surface : à 80 kV, l'écart n'excède pas 12% (cas du fantôme Ø 10 cm). Par contre, nous pouvons constater un écart important entre la mesure de dose en surface et le CTD_{vol} affiché (facteur = 2,2 dans le cas du fantôme de Ø 10cm).

Globalement le CTDI périphérie mesuré en fantôme est un bon indicateur de la dose à la peau à 10% près.

L'apport du système de réduction de dose « ECG pulsing ». a été évalué en situation clinique. Une diminution de dose de l'ordre de 35% a pu être observée à 120 kV.

En conclusion :

- Les indicateurs dosimétriques affichés à la console sont corrects pour les procédures cliniques concernant les adultes standards (fantômes de Ø 16 cm pour la tête et Ø 32 cm pour le corps entier).
- Les indicateurs dosimétriques affichés à la console sont sous-estimés pour les fantômes pédiatriques (de 10 à 20 cm de Ø) d'un facteur 2 à 2,5, car les logiciels de calcul de dose des scanners sont établis à partir des nCTD_w calculés dans des fantômes de Ø 16 et 32 cm représentatifs de l'adulte.
- Le logiciel ECG « pulsing » est un système efficace de réduction de dose.
- Les valeurs de dose en surface, obtenues par la dosimétrie DTL, sont proches de la valeur CTD_p.

Dans le cadre de l'établissement des niveaux de référence diagnostiques, il conviendra de s'interroger sur la pertinence des indicateurs dosimétriques actuellement proposés et plus particulièrement de leur adaptation aux examens pédiatriques.

Remerciements. Les auteurs souhaitent remercier l'équipe médicale du service de radiologie du centre chirurgical de Marie Lannelongue - Le Plessis-Robinson, et tout particulièrement Jean-François Paul et Anne Sigal-Cinqualbre, radiologues, pour leur soutien et l'intérêt porté à cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Shrimpton PC et Wall BF – Reference doses for paediatric computed tomography. Radiation Protection Dosimetry, 2000, Vol.90, Nos1-2, pp.249-252.
- [2] Di Bartelo C – Mémoire de recherche – Evaluation de la dose et optimisation des protocoles pour les examens radiopédiatriques réalisés à partir d'un scanner multidétecteurs de type matriciel - DEA rayonnement et Imagerie en Médecine(2002).