

Comité 3 de la CIPR –TG 108

Aspects pratiques de l'optimisation de la radioprotection en radiographie numérique, fluoroscopie et tomодensitométrie

Isabelle
THIERRY-CHEF

Introduction and scope

- Veiller à ce que les examens ne soient pratiqués que lorsqu' ils participent à la prise en charge de l'état du patient ET que les principes de radioprotection soient appliqués pour l'ensemble des expositions.
- Imagerie numérique offre des avantages significatifs pour la santé
 - Un certain nombre de paramètres introduits par le numérique doivent être pris en compte
- Niveaux de dose doivent être proportionnés aux avantages obtenus
 - Le numérique contribue à l'acquisition, au post-traitement et à la présentation des images
 - Toutefois, il n'y a pas d'indication de fortes doses ou que les images ne sont pas collimatées
- Il faut donc tenir compte de ces **nouveaux challenges** pour maintenir l'exposition des patients au minimum nécessaire pour atteindre l'objectif médical requis

Processus d'optimisation

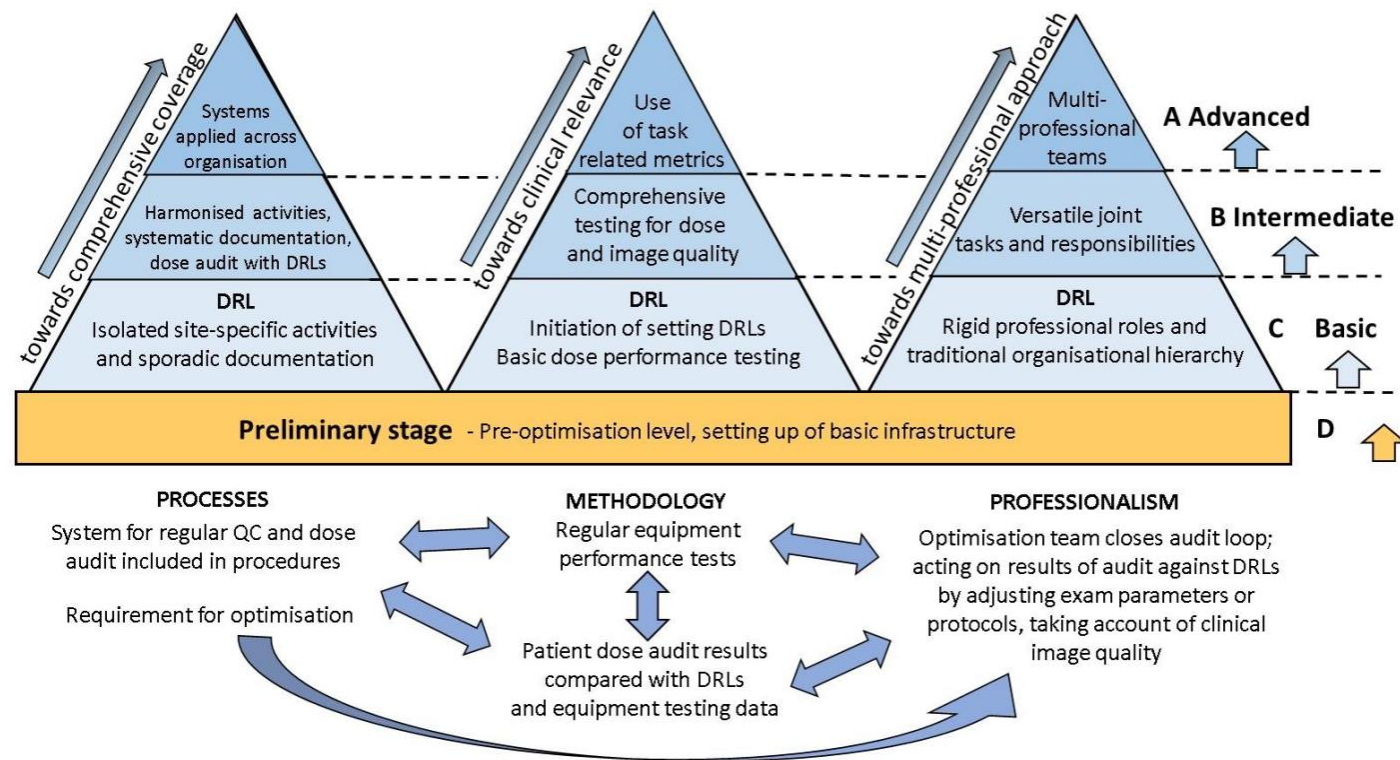
- Professionnalisme
 - Collaboration au sein de l'équipe :
 - Radiologues - juger de la qualité de l'image pour le diagnostic
 - autres médecins - comprendre la capacité du patient à subir l'examen
 - Radiographes - connaître le fonctionnement et les limites de l'équipement
 - Physiciens médicaux - comprendre les principes physiques, effectuer et interpréter les mesures de doses et de qualité de l'image
 - Gestionnaires - assurer l'organisation de la structure

Améliorations technologiques - Formation professionnelle tout au long de la carrière

Processus d'optimisation

- Méthodologie
 - Connaissances et compétences requises pour évaluer les performances des équipements
 - Imagerie numérique offre une grande adaptabilité - qualité d'image obtenue avec des doses faibles
 - Complexité accrue avec un potentiel impact sur les doses si utilisée de façon inappropriée
- Processus
 - Gestion des activités
 - Programme d'assurance qualité

Processus d'optimisation



- Au fur et à mesure que le niveau de sophistication se développe, la variété et la complexité des procédures possibles augmentent.
- Les performances de l'équipement doivent être surveillées et analysées, et les protocoles d'examen affinés au fur et à mesure que l'expérience est acquise.

Le role de l'IA pour améliorer les images et le diagnostic

- Machine learning
 - Développement de programmes informatiques pour trouver des modèles dans des données complexes (lésions) - Apprentissage à partir des données
- Deep-learning
 - Réseaux de neurones profonds
 - Nécessité d'accès à des ensembles de données annotées massifs pour le développement, la validation et le test des modèles
 - prometteur - localisation des lésions ou des tissus, la segmentation, la classification et la prédiction des résultats cliniques et la reconstruction d'images CT
 - Les méthodes IA peuvent permettre de réduire les doses (acquisition des données, positionnement du patient, optimisation de la chaîne radiologique)

Table of Contents

- Introduction
- Radiographie numérique
- Procédures interventionnelles et autres procédures de fluoroscopie
- Tomographie numérique multi-détecteurs
- Procédures Pédiatriques
- Examens des patientes enceintes
- Conclusions

Radiographie Numérique

- La radiographie numérique facilite le stockage et le transfert des données d'image et l'enregistrement des détails d'exposition, tout en offrant une plus grande flexibilité d'exposition.
- La radiographie numérique permet un ajustement des images après exposition. Par conséquent, c'est le niveau de bruit et le contraste de l'image qui fixent les limites de la qualité de l'image
- Indice d'exposition mesure le rayonnement incident sur le récepteur et reflète ainsi le niveau de bruit. Ce n'est pas un substitut de mesure de dose.



Fig. 2.1. Presentations of the same chest image using different post processing look up tables- using an underexposed appearance at left, overexposed in middle, and optimised image at right (Dean Pekarovic, University Medical Centre Ljubljana, Slovenia).

Radiographie Numérique

Facteurs d'exposition

- kV – énergie du rayonnement. Si faible énergie – fort contraste entre les tissus de différentes compositions mais fortement absorbé
 - La sélection du potentiel du tube est un compromis entre des exigences concurrentes, telles que le contraste et la pénétration.
- mAs – nombre de photons émis
 - Diminution des kV et augmentation de mAs pour même qualité d'image
- Des combinaisons appropriées de potentiel du tube et de mA doivent être établies pour différentes régions anatomiques et caractéristiques du patient, elles sont liées à la question clinique à laquelle il faut répondre.
- La qualité de l'image doit être adaptée à la question clinique

Radiographie Numérique

Grilles pour limiter le rayonnement diffusé (impactant le contraste)

- Les grilles sont utilisées pour la plupart des examens radiographiques adultes, mais peuvent être supprimées pour les examens des jeunes enfants.
 - Nécessité d'ajuster légèrement à la hausse les facteurs d'exposition
 - Contrôle sécurité - replacer la grille après utilisation sans grille
- Un logiciel de « grille virtuelle » (algorithme) peut être utile en cas de difficultés pratiques en radiographie mobile, mais ne remplacera pas la grille physique.

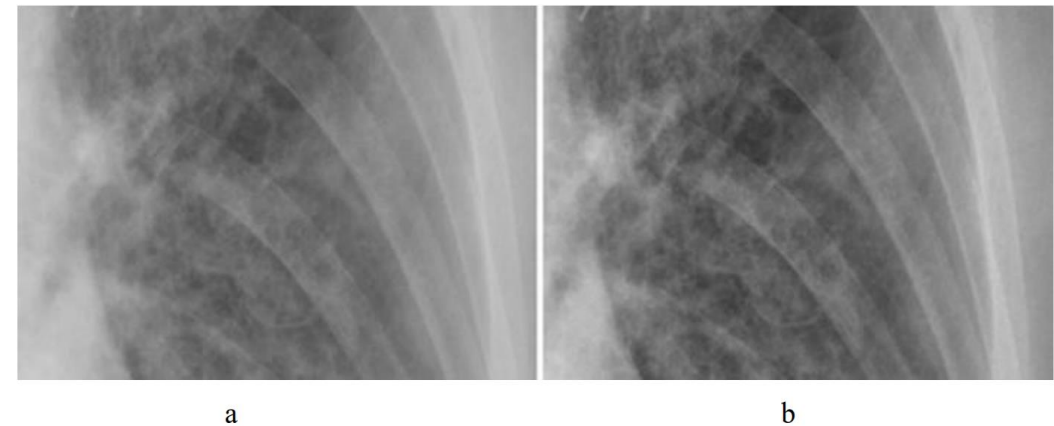
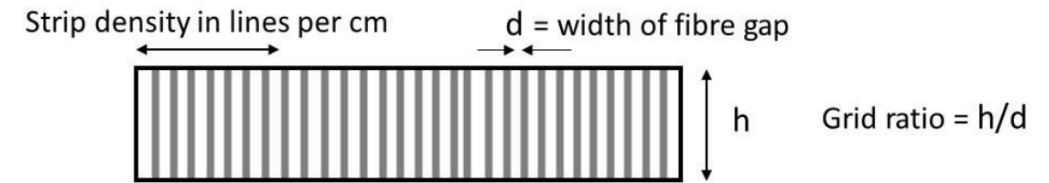


Fig. 2.4. Chest images a) before and b) after application of virtual grid software demonstrating improved image quality in figure b (Philips –Skyflow) (reproduced with permission from Koninklijke Philips N.V.).

Radiographie Numérique

Filtres pour éliminer les faibles énergies

- Des filtres en cuivre supplémentaires (0,1 à 0,3 mm) peuvent donner des réductions de 20 à 50 % de la dose efficace avec des potentiels de tube de 70 à 80 kV
- Sont systématiquement recommandés pour les examens pédiatriques.



Fig. Pelvic radiographs taken at 81 kV with a Siemens Axiom Aristos FX showing the effect of additional copper filters. Exposures from left to right were taken with the following thicknesses of copper 0 mm, 0.1 mm, 0.2 mm, and 0.3 mm, and KAP values are 34 cGy cm², 22 cGy cm², 14 cGy cm², and 11 cGy cm², respectively (cadaver study- Dean Pekarovic, University Medical Centre Ljubljana, Slovenia).

Radiographie Numérique

Contrôle automatique de l'exposition (pour une exposition constante du récepteur)

- 3 capteurs derrière le patient (2 en haut - poumons, 1 au milieu - colonne vertébrale)
- Les appareils AEC doivent être configurés pour maintenir un indice d'exposition (EI) constant.
- Le réglage initial est crucial pour déterminer les niveaux d'exposition et des tests doivent être régulièrement effectués avec des fantômes représentant une gamme d'épaisseurs de patients.
- Attention - il faut ajuster la position du patient pour un bon positionnement sur les capteurs (parfois difficile chez les jeunes patients)

Radiographie Numérique

Indice d'exposition cible

- L'indice d'exposition cible (EIT) représente l'exposition optimale pour une partie du corps en cours d'imagerie, les caractéristiques du patient et la tâche d'imagerie.
- Les valeurs EIT doivent être déterminées par l'équipe d'optimisation et dépendront du niveau de bruit requis.

Radiographie Numérique

Collimation

- L'importance de la collimation sur la dose au patient et la qualité de l'image doit être soulignée tout au long de la formation des radiographes.
- Les pratiques sous-optimales doivent être identifiées par un audit régulier du produit air-kerma (KAP) par rapport aux valeurs de bonnes pratiques attendues.



a

b

a – image initiale mal collimatée

b- collimation appropriée

Radiographie Numérique

Protection gonadique

- L'utilisation de la protection gonadique du patient pendant l'imagerie diagnostique basée sur les rayons X doit être abandonnée comme pratique de routine.

Analyse des images

- Les données sur les images rejetées doivent être collectées et analysées régulièrement.
- Les taux de rejet doivent être calculés et des mesures d'amélioration de la qualité prises lorsqu'ils dépassent un seuil prédéterminé.
- Les raisons des rejets doivent être utilisées pour orienter les améliorations des méthodes de travail.

Radiographie Numérique

Mise en service et contrôle qualité

- Les tests de mise en service sont cruciaux pour s'assurer que le nouvel équipement fonctionne de manière optimale.
- Après la mise en service, les médecins et les radiographes doivent travailler ensemble pour établir un programme QC/AQ local .
- Les radiographes, les radiologues et les médecins doivent collaborer pour identifier les algorithmes de traitement les plus appropriés.

Procédures interventionnelles et autres procédures fluoroscopiques

- La fluoroscopie est une procédure d'imagerie interactive nécessitant une utilisation appropriée des fonctionnalités de l'équipement pour effectuer la tâche clinique avec la dose de rayonnement la plus faible possible pour le patient et les membres du personnel.
- L'équipement de fluoroscopie peut fonctionner en mode fluoroscopie et radiographie pour combiner la bonne résolution temporelle en scopie avec le bon rapport signal sur bruit et la capacité d'enregistrement/archivage de la graphie
- Les protocoles doivent être configurés pour donner la qualité d'image requise et minimiser la dose.

Procédures interventionnelles et autres procédures fluoroscopiques

- Les paramètres du système de contrôle automatique du débit de dose (ADRC) doivent être pris en compte.
 - Ajustement automatique des facteurs d'exposition pour fournir une intensité constante au niveau du récepteur d'image
 - Dégradation de la qualité de l'image pour les objets à forte atténuation tels que les patients obèses, les projections latérales ou obliques ou les parties du corps plus épaisses
- Des programmes de contrôle de la qualité doivent être établis pour évaluer les performances de tous les modes d'exposition.

Procédures interventionnelles et autres procédures fluoroscopiques

Procédures complexes

- Lorsqu'il existe un risque de lésion cutanée, les quantités de doses cumulées doivent être surveillées pendant la procédure et enregistrées à la fin.
- Des niveaux de déclenchement appropriés doivent être prédéfinis pour le suivi des patients et la gestion des réactions tissulaires.
- L'exposition aux procédures antérieures et futures potentielles doit également être prise en compte
- La projection du faisceau de rayons X et l'angulation avec les systèmes d'arceau en C doivent être sélectionnées pour fournir la visualisation anatomique requise, en gardant à l'esprit que des angulations prononcées augmentent la dose au patient.

Procédures interventionnelles et autres procédures fluoroscopiques

- L'utilisation de faibles fréquences d'impulsions fluoroscopiques et de faibles longueurs d'impulsions,
- une collimation appropriée et
- la modification de l'angulation et de l'entrée du faisceau pour réduire la possibilité de chevauchement des champs de rayonnement provenant de différentes projections,

doivent être utilisées pour maintenir la dose cutanée maximale en dessous du seuil de lésion cutanée.

Procédures interventionnelles et autres procédures fluoroscopiques

- Programme d'assurance qualité doit être mis en place pour permettre au processus d'optimisation de progresser et une équipe pluridisciplinaire doit être créée pour promouvoir l'optimisation par l'examen des procédures fluoroscopiques courantes.
- La mise en œuvre de niveaux de référence de diagnostic (NDR) est recommandée

Tomodensitométrie multi-détecteurs

- L'optimisation du protocole peut entraîner une réduction significative de la dose, mais dépend d'une sélection appropriée des paramètres de balayage et d'une compréhension de l'interdépendance des paramètres d'exposition

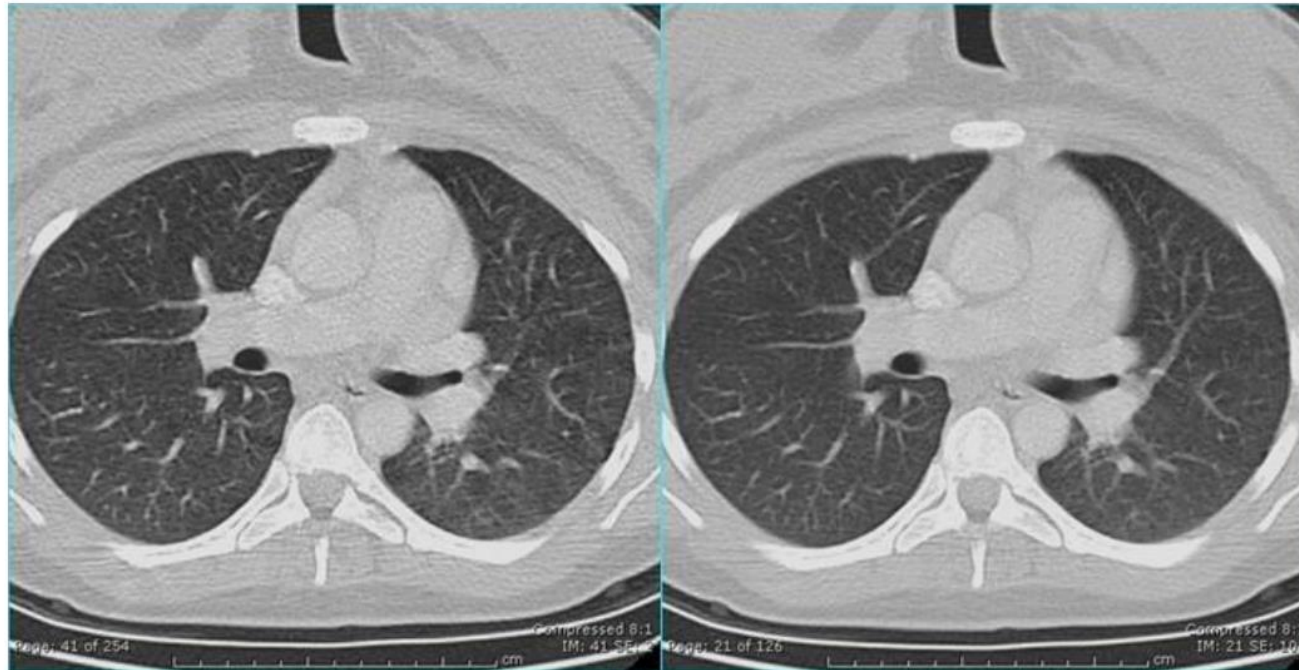


Fig. 4.1. CT chest images with contrast taken at 120 kV. The image on the left is with the standard exposure and the one on the right has double the mAs. The clinical image quality difference between the two images is slight and there is no gain in diagnostic information from the higher exposure. CT exposure factors are strongly dependent on patient size. (K. Applegate, Dept of Radiology, University of Kentucky, retired)

Tomodensitométrie multi-détecteurs

- Des coupes CT plus fines permettent des représentations d'images 3D volumétriques polyvalentes et peuvent améliorer la résolution du contraste entre les petites structures et l'arrière-plan mais le niveau de bruit sera plus élevé
- La réduction de la tension du tube peut permettre de réduire la dose de rayonnement en améliorant le rapport contraste/bruit pour les études avec contraste d'iode, mais implique généralement une augmentation compensatoire du courant du tube pour réduire le niveau de bruit afin d'obtenir une qualité d'image clinique acceptable.

Tomodensitométrie multi-détecteurs

Reconstruction

- La reconstruction itérative (IR) et la reconstruction d'image basée sur Deep-learning (DLIR) ont le potentiel de produire une meilleure qualité d'image et d'atténuer les artefacts d'image, de sorte que les protocoles peuvent utiliser des paramètres de dose plus faibles pour obtenir une qualité d'image clinique adéquate.

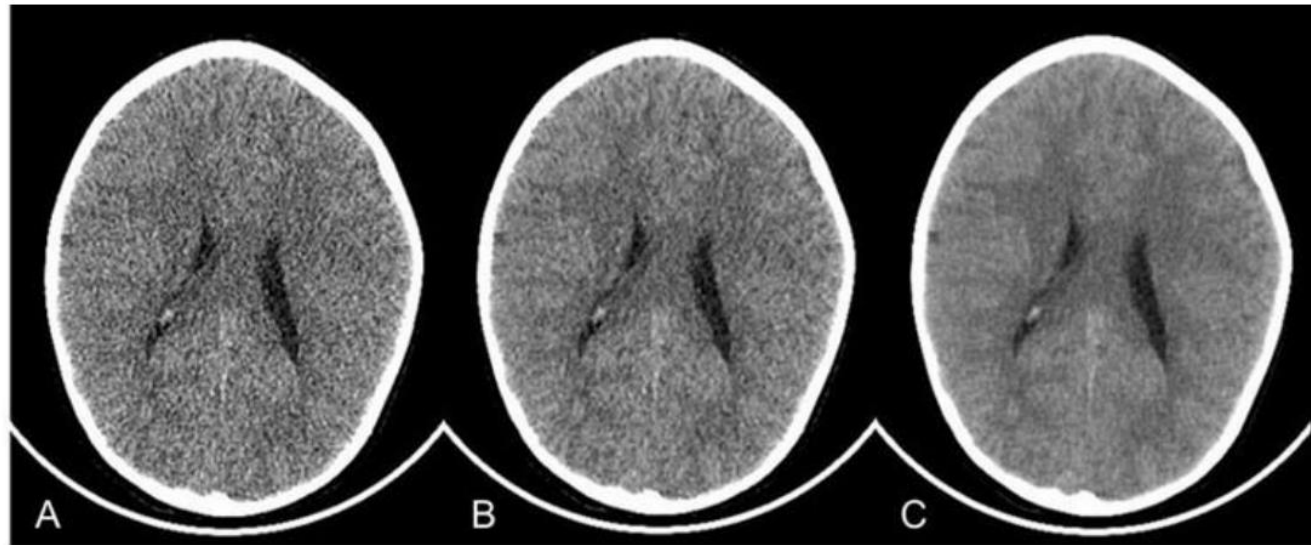


Fig. 4.3. An example of A) traditional (FBP; standard filter), B) iterative reconstruction (ASiR-V 50%) and C) deep-learning based reconstruction (TrueFidelity High) from the same raw-data in a neurological brain scan performed with GE Revolution CT for a 5 years old girl.

Tomodensitométrie multi-détecteurs

Modulation automatique du courant du tube (ATCM)

- Elle tient compte des différences de taille du patient et d'atténuation des tissus. Elle ajuste le mA pour maintenir un niveau similaire de qualité d'image tout au long d'un balayage, cependant, les opérateurs CT doivent comprendre les concepts sur lesquels les ajustements mA sont basés ainsi que les variations entre les fournisseurs.

Tomodensitométrie multi-détecteurs

Imagerie cardiaque

- Les tomodensitomètres peuvent être configurés pour déclencher des balayages à des phases présélectionnées du cycle cardiaque déterminées à partir de l'électrocardiogramme, ce qui peut fournir une bonne qualité d'image à des doses relativement faibles avec des fréquences cardiaques faibles et stables.

Tomodensitométrie multi-détecteurs

- Des protocoles devraient être mis en place initialement pour les examens qui sont effectués fréquemment et pour les indications d'urgence.
- Le niveau de qualité d'image, les facteurs d'exposition, l'épaisseur de coupe, le pas, les filtres et la nécessité d'une reconstruction itérative ou basée sur deep-learning doivent être convenus entre les professionnels concernés.
- Les protocoles d'analyse doivent être révisés périodiquement et le développement des protocoles doit être un processus continu avec des mesures de l'impact des changements.
- Les nouveaux protocoles doivent être testés par rapport aux anciens et des évaluations pratiques effectuées sur des fantômes si nécessaire

Procédures pédiatriques

- L'optimisation du protocole pédiatrique nécessite une compréhension de l'indication clinique, de la taille du patient, de la capacité du patient à coopérer et des examens alternatifs disponibles localement pour répondre à la question clinique.
- Les professionnels de la radiologie (l'équipe de radiographes, de radiologues et de médecins) doivent avoir une éducation et une formation adéquates en optimisation de l'imagerie pour les nourrissons et les enfants
- Les référents, les enfants, leurs parents et les soignants doivent être impliqués dans la prise de décision partagée tout au long du processus d'examen, de réalisation et de révision des examens d'imagerie.

Procédures pédiatriques

Collimation

- Surveiller la collimation dans le cadre du programme d'assurance qualité pour s'assurer que les radiographes collimatent correctement les expositions radiographiques, plutôt que de recadrer les images après l'exposition.

Procédures pédiatriques

Grille

- Une grille n'est généralement pas nécessaire pour la radiographie ou la fluoroscopie des nourrissons et des enfants de moins de 4 ans, et peut ne pas être nécessaire pour l'imagerie thoracique des enfants plus âgés.

Procédures pédiatriques

Caractéristiques du patient

- L'âge du patient est un mauvais substitut à l'épaisseur pour déterminer les exigences d'exposition. Comme pour toute radiographie, l'épaisseur de la partie du corps est le déterminant le plus important de la technique.
- Les abdomens des plus grands de 3 ans ont la même taille que les abdomens des plus petits de 18 ans. L'utilisation du poids est une meilleure alternative à l'âge qui peut être mesuré relativement facilement.

Procédures pédiatriques

Fluoroscopie

- Utilisez des méthodes de réduction de dose lorsque cela est possible avec la fluoroscopie, y compris la collimation virtuelle, le retrait de la grille, la filtration supplémentaire du cuivre, le maintien de la dernière image et la fluoroscopie pulsée sur le réglage le plus bas possible.

Procédures pédiatriques

- L' équipe (radiographe, physicien médical et radiologue) doit communiquer avec les cliniciens, les familles et les autres parties prenantes. Ils doivent revoir périodiquement les protocoles d'imagerie pour mettre en œuvre les meilleures pratiques

Patientes enceintes

- L'exposition médicale des patientes enceintes nécessite une approche détaillée du processus de justification, dans laquelle les avantages et les risques pour la mère et l'enfant à naître doivent être pris en considération.
- Les méthodes d'imagerie basées sur des rayonnements non ionisants, par exemple les ultrasons ou l'IRM, qui peuvent fournir des informations diagnostiques suffisantes, doivent toujours être envisagées
- Les patientes enceintes peuvent être exposées accidentellement au début de la grossesse ou lorsqu'une imagerie d'urgence est effectuée avant que l'état de grossesse ne soit confirmé, et dans ces cas, une estimation précise de la dose à l'embryon/foetus peut être nécessaire.
- Des progiciels sont disponibles pour le calcul des doses à l'embryon/foetus à partir des procédures de radiographie diagnostique et interventionnelle.

Patientes enceintes

- Des avis doivent être affichés dans toutes les installations d'imagerie pour avertir les patientes susceptibles d'être enceintes du risque pour le fœtus d'une exposition aux rayons X.
- Toutes les patientes en âge de procréer doivent être interrogées sur leur état de grossesse avant la réalisation d'examens radiographiques - l'utilisation d'un formulaire standardisé est recommandée.
- L'utilisation de la protection du patient pour réduire la dose au fœtus n'est plus recommandée pour aucun type de procédure de radiographie diagnostique.

Patientes enceintes

- Des protocoles CT à faible dose doivent être établis pour les patientes enceintes pour des indications cliniques appropriées survenant pendant la grossesse ;
- L'irradiation primaire du fœtus doit être évitée et l'accent doit être mis sur la limitation de la longueur du balayage dans la direction de l'utérus dans la mesure du possible.
- Les procédures d'imagerie guidée par fluoroscopie doivent être optimisées et d'autres modalités d'imagerie non ionisante telles que l'échographie ou l'IRM doivent être envisagées pour atteindre l'objectif clinique avec une réduction de la dose à la fois pour le fœtus et la mère.

Conclusions

- L'optimisation en imagerie diagnostique et pour les procédures guidées par imagerie doit reposer sur une collaboration entre radiologues, radiographes et médecins
- Elle doit se développer dès la création d'une installation jusqu'au degré avancé du processus d'optimisation
- Les facteurs d'exposition pour la **radiographie numérique** doivent être établis pour différentes régions anatomiques et caractéristiques du patient, en utilisant
 - des dispositifs de contrôle automatique de l'exposition
 - éventuellement une filtration au cuivre, en particulier pour les expositions pédiatriques
- les indices d'exposition et la collimation des images doivent être surveillés.

Conclusions

- Les programmes de sélection des facteurs d'exposition pour la **fluoroscopie** doivent être configurés pour fournir les informations de diagnostic requises pour l'éventail des tâches cliniques lors de la mise en service, et
- les performances de dose et de qualité d'image doivent être contrôlées par un contrôle qualité régulier.
- Le développement de protocoles **CT** pour donner un niveau de qualité d'image convenu entre les professionnels impliqués, nécessite
 - la prise en compte de l'interdépendance des paramètres d'exposition
 - l'application appropriée de la modulation automatique du courant du tube et
 - la reconstruction itérative (ou deep-learning) pour permettre une réduction de paramètres de dose.

Conclusions

- L'optimisation des protocoles pédiatriques nécessite une compréhension des indications cliniques, de la taille des patients et de la capacité des patients à coopérer
- Pour les procédures interventionnelles, la protection du personnel doit être gérée de manière intégrée avec la protection des patients.
- Les protocoles pour les patientes enceintes nécessitent une optimisation afin de réduire les doses pour la mère et l'embryon/foetus.

ICRP

www.icrp.org