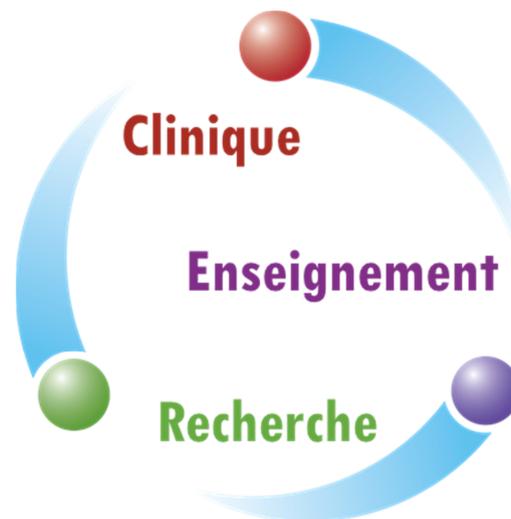




TOULOUSE

du **13** au **15 Juin 2018**

57^{èmes}
Journées
Scientifiques



Recueil des Résumés

57èmes Journées Scientifiques de la SFPM

13-15 juin 2018

Toulouse

France

Table des matières

RT - Stéréotaxie	12
Comparison of target coverage for two motion-encompassing methods for lung stereotactic body radiotherapy by using in-treatment 4D cone-beam CT, Florian Arab-Ceschia [et al.]	13
Acquisition des données dosimétriques dans le cas de mini faisceaux : détermination de protocoles d'acquisition, comparaison et caractérisation de différents détecteurs, Mehdi Assam [et al.]	15
Stéréotaxie sur appareil non dédié : de la mise en place jusqu'au traitement du patient., Perrine Bertrand [et al.]	17
Doses hors champ lors d'irradiations intra-crâniennes stéréotaxiques : comparaison Versa HD® / CyberKnife® M6TM, Nolwenn Delaby [et al.]	19
Radiothérapie stéréotaxique cérébrale : quatre versus trois rotations de table, Robin Garcia [et al.]	21
Mise en place d'un plan d'assurance qualité en stéréotaxie intracrânienne, David Gensanne [et al.]	23
Clinical implementation of a dedicated brain treatment planning optimizer for stereotactic treatments: a new treatment paradigm., Thierry Gevaert [et al.]	25
Endorectal balloon for prostate SBRT: influence on internal pudendal arteries dose sparing?, Maud Jaccard [et al.]	27
Single shot stereotactic body radiotherapy for localized prostate cancer: case report, Nikolaos Koutsouvelis [et al.]	29
Clinical use of 4D CBCT: ITV volume and amplitude study, Fanny Oger [et al.]	31
Tumor motion for SBRT and IMRT treatment of lung cancer, Milovan Savanovic [et al.]	33

Comparaison dosimétrique pour des traitements de métastases cérébrales en conditions stéréotaxiques, Maud Vande Woestyne [et al.]	34
RT - Métrologie / AQ	36
Response to high energy photons of the redesigned PTW T31022 PinPoint 3D ion chamber, François Xavier Arnaud [et al.]	37
Détermination des FOC sur le Cyberknife M6 : comparaison de deux méthodes de correction appliquées à la mesure avec plusieurs détecteurs., Julien Jurczak [et al.]	39
Determination of small MLC-fields output correction factors for four commercial detectors used in clinical dosimetry using GATE/Geant4 Monte Carlo simulations, Joey Labour [et al.]	41
VMAT complexity metrics can reduce patient QA workload, Michel Mathot	43
Mise en place et contrôle qualité du Dynamic Wave Arc Sur l'accélérateur dédié SBRT VERO, Jocelyne Mazurier [et al.]	45
Assurance qualité patient du nouvel accélérateur linéaire halcyon (Varian), Daniel Nguyen [et al.]	47
Dosimétrie des mini faisceaux d'électrons réalisée avec quatre types de détecteurs, Intidhar Saidani [et al.]	49
Utilisation d'un dosimètre de type GaN en Curiethérapie Haut débit de dose: Une nouvelle approche des contrôles de qualité des projecteurs de source et des contrôles patients prétraitement, Thomas Brun [et al.]	51
Evaluation du module Delivery Analysis (Accuray), comparaison avec le Delta4, Jimmy Fontaine [et al.]	53
Vers des nouveaux modes de fonctionnement ? Amélioration d'un fonctionnement basé sur les nouvelles technologies, Mathieu Gonod [et al.]	55
Evaluation préliminaire sur fantôme du détecteur à transmission DELTA4 Discover pour des traitements VMAT, Aurélia Mana [et al.]	57
Enquête ASN-IRSN sur la dosimétrie in vivo en radiothérapie externe : quelles solutions et stratégies pour repousser la frontière du " techniquement mesurable " ?, Patrice Roch [et al.]	59

Amélioration dosimétrique d'un système de vérification prétraitement basé sur l'EPID par apport d'un modèle de double source pour les faisceaux de photons issus des accélérateurs linéaires, Arnaud Rozes [et al.]	61
Détection des erreurs de collimateur multi-lames avec EPIBeam pour les contrôles qualité des plans de traitement en arcthérapie dynamique, Aurore Seneclauze [et al.]	63
Optimisation de la résolution angulaire du calcul de dose en VMAT pour la solution Delta4DVH Anatomy, Hugo Agostini [et al.]	65
Characterization of an optical dosimeter fiber for radiotherapy use, Oreste Allegri [et al.]	67
Characterization of an aSi-1000 EPID response in integrated and continuous acquisition modes for SBRT dosimetry applications, Ana Rita Barbeiro [et al.]	68
Etude et caractérisation du système de contrôle qualité patient ArcCheck en tomothérapie, Jean-Pierre Cleuziou [et al.]	70
Développement d'un outil de détermination expérimentale 3D de la dose délivrée aux tissus sains en radiothérapie externe, Julie Colnot [et al.]	72
Analyse de la qualité des traitements de RT crano-spinaux (CSI) en Tomothérapie hélicoïdale (TH) et en protonthérapie à l'Institut Curie., Mathieu Dartiguemalle [et al.]	74
Expérience de Gustave Roussy sur la mise en œuvre/compatibilité de RayStation et d'iViewDose, Kim-Maly Ea [et al.]	76
Implémentation du module contrôle qualité MOD-ISO-CBCT+ de QUALIFORMED sur Agility d'Elekta, Geoffroy Guibert [et al.]	78
Utilisation du Profiler® pour le contrôle des profils transversaux et longitudinaux d'un appareil de Tomothérapie®, Frederic Gassa [et al.]	80
Utilisation du cadphan 600® pour le contrôle image MVCT d'un appareil de Tomothérapie®, Frederic Gassa	82
Fantôme LEGO® Vs CT4D, Prisca Lamoly [et al.]	84
Etude de la reproductibilité du positionnement anatomique en apnée inspiratoire, Pauline Mazars [et al.]	86
Influence du bruit statistique et d'un algorithme de réduction de bruit sur l'analyse gamma pour des plans VMAT calculés avec PRIMO, Alain Sottiaux [et al.]	88

Evaluation de la matrice de vérification OnLine des paramètres d'irradiation de ScandiDos : Le Discover, Tiphaine Vandermaesen [et al.]	90
Validation des images de positionnement du patient en radiothérapie externe. Bilan de la mise en oeuvre d'une nouvelle méthodologie incluant des audits internes., Stephane Estivalet	92
RT - Planification	94
Evaluation de l'utilisation de l'algorithme de correction des artefacts métalliques Smart MAR (Metal Artifact Reduction) pour l'imagerie de planification en radiothérapie externe, Armelle Arnoul Jarriault [et al.]	95
Traitement du sein par VMAT au CHU de La Réunion, Céline Corbice [et al.] . .	97
Comparaison dosimétrique de 3 TPS utilisés pour la planification de traitements avec modulation d'intensité rotationnelle du sein et des aires ganglionnaires, Emilie Costa [et al.]	99
Analyse de pratiques des planifications dosimétriques des patients Cyberknife M6 à l'Institut de Cancérologie de Lorraine, Florent Courrech [et al.]	101
Modification de la prise en charge des traitements SBRT des tumeurs pulmonaires périphériques sur Linac par arcthérapie : plus précis, plus rapide et sûr, Julien Darréon [et al.]	103
Etude dosimétrique de l'influence de la table de traitement en arcthérapie, Elli Dimitriadi [et al.]	105
Treating breast cancer with VMAT in deep inspiration breath hold: the Geneva experience, Angèle Dubouloz [et al.]	107
Mise en place de la trimodalité appliquée à la radiothérapie, David Gensanne [et al.]	109
VMAT vs. RTC3D : évaluation dosimétrique quantitative pour les localisations pulmonaires, Yann Lauzin [et al.]	111
Etat de l'art de la prise en charge du cancer du sein en radiothérapie. Comparaison des approches conformationnelles mono/multi-isocentriques et hélicoïdales., Agathe Leroux [et al.]	113
Evaluation de contours et influence sur la dose aux volumes cibles (VC) et organe à risque (OAR) dans le cas d'un cancer de prostate, Virginie Massaria [et al.] . .	115

Impacts dosimétriques des faisceaux FFF grands champs dans le cadre des traitements VMAT des cancers pulmonaires, Anas Moustamia [et al.]	117
Etat de l'art et traitements du cancer du sein en Tomotherapy, Manon Nirrengarten [et al.]	119
Vulvar cancer: Comparative study of novel 3D radiation therapy technique " Advanced conformal technique " and AP-PA irradiation techniques, Abdelati Nourredine [et al.]	120
Comparaison de deux systèmes de reconstruction d'imagerie 4D-CT pour les lésions hépatiques, Jessica Prunaretty [et al.]	122
Comment améliorer la qualité de ses plans de traitement par un suivi statistique de ses données patients ?, Magalie Robilliard	124
Détermination d'un outil d'aide à la décision pour l'implantation d'aiguilles interstitielles en curiethérapie utero-vaginale à débit pulsé, Magali Sandt [et al.]	126
Dosimetric comparison of dynamic conformal arc therapy with flattened beams and flattening filter free beams for SBRT lung cancer, Milovan Savanovic [et al.]	128
Is dose escalation in intracranial pediatric ependymoma feasible with advanced radiation techniques?, Fatima Tensaouti [et al.]	129
Impact of a CT artifact reduction algorithm in radiotherapy: preliminary qualitative and quantitative aspects, Rémy Villeneuve [et al.]	131
Optimisation Multi-Critères en Tomotherapy, Antoine Wagner [et al.]	133
RT - Radiothérapie Adaptative et Machine learning	135
A MRI radiomic signature for predicting brachytherapy outcomes in locally advanced cervical cancer, Anthony Alexis [et al.]	136
Evaluation d'une méthode de correction des Unités Hounsfield sur Cone Beam-CT dans les stratégies de re-calcul de doses, A. Badey [et al.]	138
Utiliser l'imageur portal avec des réseaux de neurones, Frederic Chatrie [et al.]	140
Etude dosimétrique sur calcul CBCT des traitements VMAT pour la localisation ORL dans le cadre d'une approche de la radiothérapie adaptative, Soufiane Chouaf [et al.]	142
Radiomics des leucémies lymphoïdes chroniques : segmentation multi-label des IRM corps entier, Eloïse Grossiord [et al.]	144

Génération de pseudo-CT à partir d'IRM en radiothérapie : comparaison de 3 méthodes, Axel Largent [et al.]	146
Apport de la dosimétrie de transit (EPID-based) et calcul de dose a posteriori dans l'anatomie réelle du patient (kV-CBCT-based) pour l'estimation de la dose délivrée au patient (Etude préliminaire), Robin Sauvinet [et al.]	148
Reconstruction de la dose 3D dans le patient à partir d'images EPID de transit pour des traitements VMAT avec l'accélérateur linéaire TrueBeam, Fouad Younan [et al.]	150
RT - Modèles de calcul	152
Utilisation de la plate-forme GATE/GEANT4 en curiethérapie à haut débit de dose : Etude dosimétrique d'une source de Cobalt 60., Ahmed Bannan	153
Entropic model for real-time dose calculation, Gabriele Birindelli [et al.]	155
Procédure d'assurance qualité pour évaluer dans la pratique clinique les modifications dosimétriques d'un nouvel algorithme de calcul de dose, Abdulhamid Chaikh [et al.]	157
Optimisation des paramètres du calcul de dose en électrons de l'algorithme eMC, Paul-Alexandre Daviau [et al.]	159
Evaluation de l'influence d'un algorithme de correction d'artéfacts sur le calcul de la dose en photon et proton thérapie, Julien Feuillade [et al.]	161
Utilisation de GATE/Geant4 pour la distribution de dose absorbée de faisceaux d'électrons en radiothérapie externe, Jeremy Leste [et al.]	162
Automatisation de la vérification de plans VMAT cliniques avec PRIMO, Alain Sottiaux [et al.]	164
Calcul de dose de plans VMAT cliniques par Monte Carlo pour un Novalis TrueBeam Stx avec PRIMO, Alain Sottiaux [et al.]	165
Modélisation de la réponse de l'EPID d'un TrueBeam STx par Monte Carlo, Alain Sottiaux [et al.]	167
Impact de l'utilisation d'Acuros XB dans le traitement des cancers du poumon pour des fractionnements classiques et en hypofractionnement, Marine Stadler [et al.]	169
Comparaisons d'algorithmes de calcul de dose en milieu hétérogène à l'aide de plans d'expérience, Maëva Vangvichith [et al.]	171

Evaluation of the absorbed dose reporting mode of the AAA and AXB algorithms and the Monte-Carlo code GATE in high and low density media, Tony Younes [et al.]	173
Comparative study between acuros xb algorithm and anisotropic analytical algorithm in the case of heterogeneity for the treatment of lung cancer., Mohammed El Adnani Krabch [et al.]	175
RT - Nouvelles Technologies	177
Simulation de la dose biologique produite par des protons de 65 MeV (faisceau clinique) et des ions carbone., Yasmine Ali [et al.]	178
Recette et caractéristiques dosimétriques du nouvel accélérateur linéaire halcyon (varian), Vivien Bernard [et al.]	180
Mesure de la dose déposée en utilisant les rayons X issus du bremsstrahlung, Flavien Ralite [et al.]	182
Irradiation dans un nanosystème moléculaire, Thibaud Salbaing [et al.]	184
Reference dosimetry for high dose rate pulsed scanned proton beams, Marie Vidal [et al.]	186
Impression 3D en radiothérapie-curiothérapie : retour d'expérience après 1 an et demi d'utilisation clinique, Laura Wagner [et al.]	188
RX - IRM	190
IRM et quantification du fer intracérébral : développement méthodologique de la relaxométrie R2* et de l'imagerie de la susceptibilité magnétique, Samy Chafa [et al.]	191
Solution automatisée de classement des images d'IRM-4D du foie, Baptiste L'homel [et al.]	193
Ecoulement de référence et rôle du physicien médical dans la validation des protocoles de flux 4D par IRM, Thomas Puisseux [et al.]	195
Performance Assessment of Magnetic Resonance Imaging (MRI) pelvimetry using ex vivo pelvises and a 3D-printed geometric-distortion phantom, Anou Sewonu [et al.]	197
Quantification des distorsions géométriques sur les IRM et évaluation de l'impact de la correction des distorsions, Ludovic Vanquin [et al.]	199

RX - Radiologie Interventionnelle	201
Impact des équipements de radioprotection sur la dosimétrie de l'opérateur et du patient en coronarographie, Aya Al Masri	202
Preliminary characterization study of a miniaturized GaN-based X-ray detector for Virtual Fluoroscopy, Pierrick Guiral [et al.]	204
Retour d'expérience sur cinq ans d'exploitation d'un DACS en cardiologie interventionnelle, Thibault Julien [et al.]	206
Utilisation d'un dose archiving and communication system pour la détermination de niveaux de référence interventionnels en chirurgie cardiaque, Stephe Sarcy [et al.]	207
Évaluation de la dose pic à la peau pour des procédures cliniques vasculaires en radiologie interventionnelle : une comparaison entre trois solutions numériques de calcul, Francois Gardavaud [et al.]	209
Développement d'un modèle de prédiction des risques radiologiques en cardiologie interventionnelle, Laura Guerin [et al.]	211
 RX - Imagerie Autres	 212
Comparaison du calcul de dose à l'organe en scanographie, Thibault Julien [et al.]	213
Nouvelle méthode de détermination de la qualité de faisceaux X, Guo-Neng Lu [et al.]	214
Simulation of CTDI using GATE for 2, 16, 64 slices CT system, Mounir Mkimel [et al.]	216
Estimation of the organ and effective dose during CT chest examination: a Monte Carlo study, Mounir Mkimel [et al.]	218
Medical Physicist and Radiologists, a winning team: definition of a new biomarker for the assessment of small aortic aneurysm rapid growth risk, Ramiro Moreno [et al.]	220
Impact des différentes générations d'algorithmes itératifs sur la détectabilité à bas contraste en tomodensitométrie abdominale, Anais Viry [et al.]	222
Discrimination and characterization of calcium crystal types with a multi-energy spectral photon-counting CT for crystal-related arthropaties: Initial experience and diagnostic performance in vitro, Anais Viry [et al.]	224

Acceptance du tomodensitomètre Siemens Definition Edge, Francois Gardavaud [et al.]	226
MN - Médecine Nucléaire	228
Rôle prédictif de la dosimétrie basée sur l'imagerie TEMP des MAA marqués au ^{99m}Tc (^{99m}Tc -MAA) dans le traitement des carcinomes hépatocellulaires (CHC) avancés traités par radiothérapie interne sélective (RTIS) par microsphères de résine chargées en ^{90}Y (^{90}Y -MS) : une cohorte de l'étude SARAH, Anne-Laure Hermann [et al.]	229
Etude de la limite de détectabilité d'une gamma-caméra à l'Iode-131, Raphael Hermouet [et al.]	231
Imagerie et Radiothérapie Interne Vectorisée " le concept de Théranostique ", Elif Hindié	233
Optimisation de l'activité injectée en imagerie tomoscintigraphique de perfusion myocardique au ^{99m}Tc - Sestamibi, Sebastien Joly [et al.]	234
Comparaison entre les dosimétries prédictive et post-traitement pour les patients atteints de carcinome hépatocellulaire traités par radioembolisation aux microsphères de verre, Marilyne Kafrouni [et al.]	236
Évaluation et comparaison d'un nouveau collimateur basse énergie haute résolution, Gilles Le Rouzic [et al.]	238
Comparaison des estimations de dose absorbée à l'organe obtenues avec PLANET-Dose et OLINDA/EXM V2.0 chez des patients traités par radiopeptidothérapie (RPT) au Lutathera®, E Mora-Ramirez [et al.]	240
Evaluation de la dose délivrée aux patients lors d'une scintigraphie osseuse couplée à un examen tomodensitométrique et optimisation des pratiques, Stephie Sarcy [et al.]	242
Calcul de dose dans le cas d'une extravasation d'un patient traité au ^{177}Lu -DOTATATE, Perrine Tylski [et al.]	244
Optimisation de l'activité injectée au patient dans le cadre de scintigraphie thyroïdienne dans l'objectif de se rapprocher du niveau de référence diagnostique, Maud Vande Woestyne [et al.]	246
Place de la physique médicale en imagerie préclinique, Jean-Marc Vrigneaud	248

Comparaison des algorithmes de reconstruction itératifs " Bayesian-penalized likelihood " (Q.Clear) et OSEM-TOF (VPFX) en imagerie TEP des cancers pulmonaires non à petites cellules : apport sur la définition des volumes tumoraux, Loriane Weber [et al.]	249
Extraction d'informations cinétiques à partir d'acquisitions TEP cérébrales à la 18F-FDOPA, Timothée Zaragori [et al.]	251
EN - Enseignement	253
Master de Physique Médicale - Université Grenoble-Alpes, Jean-François Adam	254
EFOMP: A global Player in the Education and Training of Medical Physics Experts, Marco Brambilla	256
Le Master en Physique Biologique et Médicale de l'Université de Lille, Fabrizio Cleri [et al.]	259
Master mention Ingénierie Nucléaire parcours Physique et Technologies des Rayonnements pour l'Industrie et la Physique Médicale (PTR-IPM), Véronique Dedieu [et al.]	261
L'accueil des stagiaires DQPRM en EAP : expérience de l'APHM, Bardia Farman [et al.]	263
LE MASTER DE RADIOPHYSIQUE DE L'UNIVERSITE DE TOULOUSE, Xavier Franceries	265
Encadrement des étudiants DQPRM en stage : retour d'expérience du Centre Eugène Marquis, Caroline Lafond [et al.]	267
MYRE : un système d'auto-formation en Radiothérapie, Jean-Baptiste Lavielle [et al.]	269
Master 2 " rayonnements ionisants et applications médicales " de Nantes, Vincent Metivier	271
Master 2 radiophysique médicale – Université Paris Saclay : recrutements, programme, environnement scientifique et devenir des étudiants, Charlotte Robert [et al.]	272
Formation des Physiciens Médicaux : Organisation actuelle et réingénierie du DQPRM, Amélie Roué [et al.]	274
Présentation du master mention " physique fondamentale et applications " parcours physique médicale de l'université rennes 1, Viviane Smith [et al.]	276

RE - Recherche	278
Le GdR Mi2B, un outil d’animation scientifique des thématiques nucléaire-santé au CNRS, David Brasse	279
La physique médicale et l’approche ”science reproductible”, Ludovic Ferrer	281
French medical physicists & EJMP, Paolo Russo	283
GT - Groupes de Travail SFPM	284
SFPM working group on DBT internal quality control, Julie Sage [et al.]	285
SFRO - Session SFRO/SFPM	287
Technique de suivi dynamique respiratoire (Dynamic Tracking DT) pour la SBRT: contrôle qualité et réduction PTV, Gaëlle Jimenez [et al.]	288
Liste des auteurs	289

RT - Stéréotaxie

Comparison of target coverage for two motion-encompassing methods for lung stereotactic body radiotherapy by using in-treatment 4D cone-beam CT

Florian Arab-Ceschia ¹, Enrique Chajon ¹, Caroline Lafond ^{1,2}, Julien Bellec ^{*† 1}

¹ Centre Eugène Marquis, Rennes – CRLCC Eugène Marquis – Avenue Bataille Flandres-Dunkerque
35042 RENNES CEDEX, France

² Laboratoire Traitement du Signal et de l’ICO44image (LTSI) – Université de Rennes 1, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : U1099 – Campus Universitaire de Beaulieu - Bât 22
- 35042 Rennes, France

Introduction. Recently, in-treatment 4D cone-beam CT (4D-CBCTin-treat) has been implemented in clinic allowing the acquisition of respiratory correlated CBCT projections concurrently with the beam delivery. With this imaging modality, the actual 4D target locations during the treatment can be visualized at the end of each fraction. 4D-CBCTin-treat provides reliable information to evaluate actual target coverage during treatment and to verify planning target volume (PTV) adequacy for lung stereotactic body radiotherapy (SBRT). The purpose of this study was to compare in-treatment target coverage for two motion-encompassing PTV strategies: the internal target volume (ITV) based approach and the mid-ventilation (MidV) based approach. **Methods.** Data from 27 lung cancer patients treated with a frameless SBRT technique using a volumetric modulated arc therapy (VMAT) were selected. For each patient, a 4D-CT was used for treatment planning. For ITV-based approach, we applied the PTV setting currently used at our institute for lung SBRT: ITV was determined by contouring the target on 10 respiration phases and a generic 4 mm margin was then added to create the PTV. For the MidV-based approach, PTV was defined around the tumor closest to its time-weighted mean position (MidV CT phase) using the Van Herk margin recipe (1). At each fraction, the target was localized using a 4D-CBCT on-line registration procedure and a 4D-CBCTin-treat was acquired during the VMAT delivery. The clinical target volume (CTV) was delineated in 10 respiration phases on all 4D-CBCTin-treat images reconstructed during the treatment course. We defined target coverage per treatment as the percentage of the CTV included within the PTV averaged over respiration phases and fractions.

Results. A total of 93 4D-CBCTin-treat were delineated. Mean target coverage per treatment was 98.6% (min: 93.4%) and 98.9% (min: 93.5%) for ITV and MidV approaches respectively. Mean PTV volume was 18.1 cc (min: 2.9 cc, max: 50.7 cc) and 18.6 cc (min: 5.4 cc, max: 49.9 cc) for ITV and MidV approaches respectively. Compared to the MidV, the ITV-based strategy using a 4 mm PTV margin resulted to a non-statistically significant difference neither for target

*Intervenant

†Auteur correspondant: j.bellec@rennes.unicancer.fr

coverage ($p=0.401$) nor for PTV volume ($p=0.186$).

Conclusions. With a fast VMAT delivery technique and a 4D image guidance protocol, a 4 mm PTV margin can be safely applied when using the ITV-based strategy for frameless lung SBRT. This ITV-based PTV setting provides equivalent irradiated volumes and tumor coverage than the MidV approach.

References

1. M. B. Van Herk, "The probability of correct target dosage : dose-population histograms for deriving treatment margins in radiotherapy."

Mots-Clés: Lung SBRT, intreatment4DCBCT, ITV, midventilation

Acquisition des données dosimétriques dans le cas de mini faisceaux : détermination de protocoles d'acquisition, comparaison et caractérisation de différents détecteurs

Mehdi Assam * ¹, Jérôme Champoudry ¹, Mohamed Benkreira ¹

¹ Service de Radiothérapie CHU Timone, Marseille – AP-HM – 264 Rue Saint Pierre 13385 Marseille Cedex5, France

Introduction. Dans les conditions dites de mini-faisceaux, l'acquisition des données dosimétriques utilisées pour la modélisation peut devenir un réel challenge. L'utilisation ou non d'une chambre de référence, le positionnement des détecteurs leurs tailles et leurs compositions impliquent des protocoles d'acquisition adaptés. Les objectifs de ce travail consistent à déterminer les paramètres d'acquisition et de positionnement de chaque détecteur, afin de réaliser une analyse comparative de leurs réponses en fonction du type d'acquisition.

Méthodes. Dans le cadre de ce travail, plusieurs détecteurs : la MicroDiamond 60019 (PTW), la Diode RAZOR (IBA), les chambres d'ionisation CC01 et CC04 (IBA), la chambre à transmission Stealth (IBA) ont été utilisés pour l'acquisition de données dosimétriques : profils, rendements en profondeur et FOC. Ces mesures ont été réalisées pour des champs allant de 0,4 cm x 0,4 cm jusqu'au 3,2 cm x 3,2 cm sur un accélérateur Platform Synergy Beam Modulator (Elekta) à l'aide de la cuve Blue Phantom 2 (IBA). En fonction du type de détecteur, des protocoles d'acquisition sont paramétrés (résolution et temps d'intégration). Des mesures comparatives sont réalisées avec et sans chambre de référence (Stealth) afin d'étudier l'impact de celle-ci sur les résultats. Une comparaison des rendements en profondeurs, des profils et FOC acquis avec les différents détecteurs est réalisée afin de caractériser leurs différences de réponses.

Résultats. Les premiers résultats montrent que des protocoles de positionnement et d'acquisition spécifiques sont nécessaires pour chacun de ces détecteurs. La chambre de référence permet un gain de temps significatif lors de l'acquisition des mesures tout en semblant ne pas altérer la qualité du faisceau. Pour les FOC des différences notables apparaissent entre les différents détecteurs pour les champs inférieurs à 2,4 cm x 2,4 cm. Les différentes mesures sont en cours de réalisation.

Conclusions. Les mesures dosimétriques nécessitent des paramètres d'acquisition adaptés ainsi qu'un positionnement précis des détecteurs. La complémentarité de ces détecteurs semble adaptée à l'acquisition des données dosimétriques dans les conditions dites de mini faisceaux. La MicroDiamond et la diode RAZOR de par leur conception et leur faible volume sensible, semblent être les détecteurs les mieux adaptés pour des champs inférieurs à 1 cm x 1 cm.

*Intervenant

Mots-Clés: mini faisceaux, MicroDiamond, Razor

Stéréotaxie sur appareil non dédié : de la mise en place jusqu'au traitement du patient.

Perrine Bertrand *¹, Céline Corbice¹, Emmanuelle Fontaine¹, Johan Encaoua¹, Coraline Bednarek², Dominique Huyskens³, Ann Van Esch³, Eric Delattre

¹ CHU de La Réunion – CHU de la Réunion, Site GHSR BP 350 - 97448 Saint-Pierre, Réunion

² Centre Georges-François Leclerc – Centre Régional de Lutte contre le cancer - Centre Georges-François Leclerc – Centre Georges-François Leclerc, 21000 Dijon, France

³ 7sigma – Kasteeldreef 2, 3150 Tildonk, Belgique

Introduction :

Depuis 2015, le service de radiothérapie du CHU de La Réunion prend en charge des traitements de stéréotaxie sur des accélérateurs standards équipés d'imagerie embarquée. Nous avons débuté les traitements avec la stéréotaxie intracrânienne (STIC) en technique VMAT. En 2017, nous avons mis en place l'option 4D sur notre scanner avec le matériel RPM (Varian) et traité des patients en stéréotaxie extra-crânienne (STEC) par technique d'arc thérapie dynamique. Depuis, nous traitons en routine des patients pour des stéréotaxies crâne, poumons et os. Ce travail propose une description de la mise en œuvre de cette pratique.

Méthodes :

Nos résultats portent sur 29 patients traités en STIC, 8 en STEC pulmonaire et 6 en STEC osseuse. Les algorithmes Acuros AXB et AAA (Varian) sont définis comme référence pour les STIC et les STEC respectivement (grilles de résolution de 1 mm). La taille de mâchoires minimale que nous autorisons est de 2 x 2cm². Nous évaluons nos planifications (TPS Eclipse, Varian) selon les critères du RTOG avec relevé des indices de conformité et d'homogénéité, et suivi des doses aux OARs : le R100, R50, le RCI, le CIp et le GI. La dose à 2 cm est également relevée, ainsi que la V20 du poumon sain pour les tumeurs pulmonaires et la V12 du cerveau sain pour les STIC. Un contrôle qualité (CQ) mécanique spécifique est réalisé, ainsi que, pour chaque patient, un CQ prétraitement (Octavius 4D matrice SRS de PTW). Une imagerie CBCT est réalisée à chaque séance de traitement.

Résultats :

Pour l'ensemble des patients les valeurs (moyenne \pm SD) de R100, R50, RCI, CIp et GI sont respectivement de 1,18 \pm 0,16 ; 4,93 \pm 0,90 ; 0,99 \pm 0,01 ; 0,83 \pm 0,09 et 4,14 \pm 0,81. La tolérance pour la précision mécanique des éléments de l'appareil (contrôles mensuels) est de 1 mm sur la taille de champ et la position de l'isocentre (bras, collimateur, table et OBI (kV et CBCT)). Les résultats obtenus du gamma index pour les CQ patients sont de 93.4 % \pm 10 (dose locale 1mm/3-5% avec cut off à 50%).

*Intervenant

Conclusions :

Les indices dosimétriques ainsi que les indicateurs de CQ observés sont tout à fait satisfaisants. Notre service peut désormais offrir aux patients réunionnais des traitements de STIC, STEC pulmonaire et STEC osseuse, et ce, sans machine dédiée.

Mots-Clés: STIC, STEC pulmonaire, STEC osseuse, machine non dédiée, VMAT, arcthérapie dynamique

Doses hors champ lors d'irradiations intra-crâniennes stéréotaxiques : comparaison Versa HD® / CyberKnife® M6TM

Nolwenn Delaby *¹, Jeanne Bouvier¹, Soizic Sorel¹, Florian Arab-Ceschia¹, Olivier Henry¹, Julien Bellec¹, Caroline Lafond^{1,2}

¹ Centre Eugène Marquis – CRLCC Eugène Marquis – Avenue Bataille Flandres-Dunkerque 35042
RENNES CEDEX, France

² Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image (LTSI) – Université de Rennes 1, Institut National de
la Santé et de la Recherche Médicale : U1099 – Campus Universitaire de Beaulieu - Bât 22 - 35042
Rennes, France

Introduction. Les procédures de radiothérapie en conditions stéréotaxiques délivrent une dose de rayonnement très élevée par fraction. La dose hors du champ d'irradiation doit être prise en considération car elle augmente le risque de toxicités tardives voire de second cancer. Une précédente étude menée sur le CyberKnife® (CK), détermine la dose hors champ en fonction de l'ouverture et du type de collimateur¹. Le but de cette étude est de comparer les doses hors champ lors d'irradiations intracrâniennes réalisées sur deux types d'accélérateurs utilisés en stéréotaxie : le Versa HD® (Elekta) équipé d'un Exactrac (Brainlab) et le CyberKnife® M6TM (Accuray).

Méthodes. Les doses ont été mesurées à l'aide de dosimètres thermo luminescents (DTL) type GR 200A (LiF :Mg,Cu,P). Chaque DTL a été étalonné individuellement dans un faisceau RX de 6 MV. Les réponses des DTL ont été analysées sur un lecteur PCL3 (FIMEL). Les doses ont été mesurées pour plusieurs points de mesure représentatifs d'organes critiques : thyroïde, seins, ombilic et gonades. L'évaluation des doses hors champ au Versa HD® a été réalisée sur fantôme anthropomorphe (CIRS ATOM 701-c) pour 10 plans de traitement, réalisés sur Pinnacle v9.10 (Philips) avec une balistique VMAT à quatre arcs non-coplanaires délivrant 30 Gy en trois fractions. Les doses hors champ au CK® ont été mesurées in vivo pour 23 patients traités en trois fractions (doses totales entre 24 et 30 Gy). Les plans de traitement ont été réalisés sur le TPS Multiplan v5.3 (Accuray), avec trois types de collimateurs (fixe, IrisTM et MLC Incise2TM). Les doses hors champ sont exprimées en pourcentage de dose par unité moniteur (% cGy/UM).

Résultats. Les résultats des doses par UM mesurées pour les deux machines sont donnés dans le tableau 1. Les doses mesurées au niveau de la thyroïde sont deux à trois fois plus importantes pour les traitements réalisés au VersaHD® qu'au CK® : 0,16 % cGy/UM contre 0,05 % cGy/UM (moyenne des trois collimateurs). Les doses mesurées au niveau des seins, de l'ombilic et des gonades ne sont pas significativement différentes entre les deux machines. Au CK®, les doses par UM mesurées à la thyroïde sont deux à trois fois plus importantes avec le MLC qu'avec l'IrisTM ou fixe. Concernant les doses totales pour l'ensemble du traitement, du fait que les plans CK nécessitent en moyenne 2,7 fois plus d'UM, les doses mesurées à la thyroïde ne

*Intervenant

sont donc pas significativement différentes entre les deux machines : 76,5 mGy au VersaHD® contre 61,5 mGy au CK® (moyenne pour les trois types de collimateurs). Cette dose diminue très fortement avec la distance au VersaHD® : 6 mGy délivrés aux gonades contre 32 mGy avec le CK® (moyenne des trois collimateurs).

Conclusions. Pour une même dose prescrite au volume cible, la dose hors champ délivrée lors du traitement dépend notamment du type d'accélérateur et du type de collimateur utilisé mais aussi du nombre d'UM. Les doses hors champ mesurées au niveau de la thyroïde sont équivalentes entre les deux types d'accélérateurs et peuvent atteindre 75 mGy. L'utilisation du VersaHD® permet cependant de diminuer d'un facteur cinq la dose hors champ à grande distance par rapport au CK®. Dans le cas d'irradiations de tumeurs bénignes ainsi qu'en pédiatrie, ces doses doivent être évaluées et devenir un critère d'optimisation des plans de traitement.

References

1. Delaby, N. *et al.* CyberKnife® M6TM: Peripheral dose evaluation for brain treatments. *Phys. Med.* **37**, 88–96 (2017).

Mots-Clés: Radiothérapie stéréotaxique, Dose hors champ, CyberKnife®, VersaHD®

Radiothérapie stéréotaxique cérébrale : quatre versus trois rotations de table

Robin Garcia ^{*† 1}, Guillaume François , Enric Jaegle , Véronique Bodez ,
Catherine Khamphan , Maria Elena Alayrach , Aurélien Badey , Paul
Martinez

¹ Institut Sainte Catherine, Avignon (ISC) – Institut Sainte Catherine – 250, Chemin de Baigne Pieds
CS 80005 84918 AVIGNON CEDEX 9, France

Introduction. La mise en œuvre de traitements stéréotaxiques crâniens, à l'aide de l'irradiation VMAT, a fait l'objet d'une configuration proche des pratiques initiales basées sur l'utilisation de cônes. Pour optimiser la distribution de dose, quatre positions de rotation de table ont été fixées dans le processus de planification dosimétrique. Même si les distributions de doses n'étaient pas comparables, le VMAT offrait l'avantage d'accéder à toute la sphère autour du crâne couvrant plusieurs cibles avec le collimateur multi-lames.

Cependant, quatre rotations de la table de traitement génèrent une durée de séance importante. L'objectif a été de supprimer une position de table et de valider que les distributions de doses restaient acceptables.

Méthodes. Les cibles cérébrales sont irradiées en VMAT sur quatre rotations de table : 0 °, 45 °, 270 ° et 315 °. Les plans dosimétriques de 15 patients ont été reconfigurés en supprimant la position de la table à 270 ° et en utilisant les mêmes paramètres de planification inverse. La dose totale prescrite se situait entre 24 Gy et 33 Gy. Le nombre de cibles était de 1 à 3 avec des volumes compris entre 2 et 41 cc. Les rotations du collimateur ont été adaptées pour optimiser l'effet MLC sur la modulation. Les comparaisons ont été établies à l'aide d'indices : homogénéité, conformité, couverture des tissus sains et couverture cible. D'autres paramètres ont été recueillis : quantité d'UM, Dmax CTV, Dmax PTV, Dmax tronc cérébral, Dmoyen cerveau et V10 Gy. La durée de la session a été évaluée pour les deux configurations.

Résultats. Les distributions de dose ont été comparées avec une acceptabilité clinique similaire.

Cette première analyse a été confirmée avec les différents indices et paramètres. HI, CI, HCO et TCO ont montré un effet faible comme les autres paramètres listés dans le tableau joint.

La durée de la séance initialement entre 40 et 50 mn a diminué jusqu'à 30mn.

L'élimination de la rotation de 270 ° diminue la propagation des isodoses de faibles valeurs dans la direction tête-pieds pour créer un étirement redistribué dans le volume des trajectoires d'arc des trois autres angulations.

*Intervenant

†Auteur correspondant: r.garcia@isc84.org

Dans le cas de plusieurs volumes cibles, selon leur position dans l'espace, la distribution de dose entre eux varie. Cet effet dépend de la position de l'isocentre, du trajet de l'arc et des rotations du collimateur. Les arcs défavorables sont ceux dont l'image du BEV comprend deux volumes cibles.

Conclusions. Une configuration de planification ambitieuse pour la stéréotaxie cérébrale a été modifiée pour réduire la durée de la séance. L'élimination de la rotation de 270° n'a pas eu d'effet dosimétrique significatif. La nouvelle configuration basée sur trois positions de table est acceptable. Les index et paramètres utilisés montrent un faible effet.

L'avenir sera d'utiliser de nouveaux logiciels de planification inverse qui prennent en compte la longueur des arcs et les positions des tables avec des combinaisons variables.

Mots-Clés: stéréotaxie, optimisation, dosimétrie, crâne

Mise en place d'un plan d'assurance qualité en stéréotaxie intracrânienne

David Gensanne ^{*† 1}, Yann Lauzin ², Perrine Clarisse ², Isabelle Gardin ^{3,4}

¹ Département de Radiothérapie et de Physique Médicale – Centre de Lutte Contre le Cancer Henri Becquerel Normandie Rouen – 1, rue d'Amiens 76000 ROUEN, France

² Département de Radiothérapie et de Physique Médicale – Centre de Lutte Contre le Cancer Henri Becquerel Normandie Rouen – 1 rue d'Amiens 76000, France

³ Département de Médecine Nucléaire – Centre de Lutte Contre le Cancer Henri Becquerel Normandie Rouen – Rouen, France

⁴ Laboratoire QuantIF - LITIS (EA 4108) – EA 4108 – Rouen, France

Introduction. Dans le cadre du développement de la stéréotaxie intracrânienne au sein de notre département, nous avons développé un plan d'assurance qualité répondant au cahier des charges suivant :

- Mesurer la dose en un point, en 2D et en 3D - Réaliser l'ensemble des contrôles dans un délai réduit - Limiter le nombre de fantômes et de manipulations.

Méthodes. Les traitements sont délivrés au moyen d'un accélérateur Novalis Trubeam Stx (Varian®) en utilisant des arcs dynamiques conformationnels.

Cette irradiation est planifiée au moyen du logiciel Iplan 4.1 (Brainlab®) puis contrôlée avant d'être délivrée au patient. Les contrôles de qualité mis en place sont les suivants :

- La dose absolue est contrôlée au moyen d'un détecteur diamant (TM60019, PTW®). Ce dernier est placé dans un logement spécifique du Delta4 Phantom+ (Scandidos®), fantôme également utilisé pour l'évaluation 3D de la dose.
- L'évaluation des forts gradients de dose est obtenue au moyen de l'imageur portal de l'accélérateur, en utilisant le module PDIP (Varian®). Ce système permet une acquisition rapide de la fluence du faisceau en offrant une résolution spatiale de 0.3mm. La cartographie de dose mesurée est comparée à celle planifiée au moyen d'un Gamma index local (2%, 1mm).
- La répartition volumique des distributions de dose est évaluée à partir du Delta4 Phantom+ (Scandidos®). Un Gamma index local (2%, 2mm) est utilisé pour la comparaison des distributions de dose.

*Intervenant

†Auteur correspondant: david.gensanne@chb.unicancer.fr

Résultats. Sur les 45 premiers patients traités, soit près de 150 faisceaux contrôlés, les résultats obtenus ont montré un bon accord entre les différents types de détecteurs. Les doses absolues mesurées diffèrent peu de celles prédites, l'écart relatif médian étant de $0\% \pm 0,7$. Concernant les mesures 2D et 3D, 99% et 95% des faisceaux respectivement, satisfont au critère de Gamma index local avec un seuil fixé à 95%. La durée moyenne de l'ensemble de ces contrôles n'excède pas 30 minutes par lésion.

Conclusion. Le processus d'assurance qualité mis en place s'avère très satisfaisant. Il répond aux critères de précision requis pour les traitements de stéréotaxie, il diffère peu des contrôles de qualité utilisés en routine pour la validation des plans de traitements avec modulation d'intensité et la durée d'immobilisation de l'accélérateur est limitée.

Mots-Clés: Assurance qualité, Stéréotaxie

Clinical implementation of a dedicated brain treatment planning optimizer for stereotactic treatments: a new treatment paradigm.

Thierry Gevaert * ¹, Andrea Girardi , Benedikt Engels , Gauthier Coussement , Marlies Boussaer , Mark De Ridder

¹ UZ Brussel (Radiotherapy department) – Laarbeeklaan 101, Belgique

Purpose:

Clinical implementation of a novel dedicated and automated treatment-planning solution for cranial indications, Elements. Single lesions can be targeted with an inversely optimized VMAT approach using automated arc trajectory optimization (Cranial SRS Element) while up to fifteen metastatic brain tumors can be automatically targeted with a single isocenter and multiple inversely-optimized dynamic conformal arcs (Multiple Brain Mets SRS Element).

Material and Methods:

The very first 15 treated patients were analyzed, each representing a variable number of lesions (1-12). Depending on the number and location of the lesions a dedicated Element was selected and used in order to achieve the specific planning constraints. The plans were evaluated by means of Paddick conformity (CI) and gradient index (GI). Patient specific quality assurance (QA) was performed with gafchromic EBT3 film and portal imager.

Results:

The Elements software tools generated plans with CI of 0.71 ± 0.09 and a gradient index of 3.9 ± 1.4 . All plans achieved the organ at risk constraints. A gamma of 3%/3mm was used for the QA. A 98 % and 98,2 % passing rate was found for the EBT3 film and portal imager, respectively. This shows also the good concordance between film and EPID, suggesting that patient specific QA can be performed with the portal imager rather than the time consuming films.

Conclusions:

The automated dose planning Elements revive dynamic conformal arcs as the paradigm for linac-based stereotactic radiosurgery of multiple brain metastases and at the same time implements an improved VMAT approach for single lesions with the use of automated arc trajectory optimization. This study shows the implementation of this technique in the routine clinical environment with an improved planning and treatment efficiency.

*Intervenant

Mots-Clés: stereotactic radiosurgery, brain metastases, automated planning optimization, single isocenter treatments.

Endorectal balloon for prostate SBRT: influence on internal pudendal arteries dose sparing?

Maud Jaccard* ¹, Giorgio Lamanna ¹, Angèle Dubouloz †‡ ¹, Michel Rouzaud ¹, Raymond Miralbell ^{1,2}, Thomas Zilli ³

¹ Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG) – Rue Gabrielle Perret-Gentil, CH - 1211 Genève 14 - Suisse, Suisse

² Teknon Oncologic Institute – Servei de Radiooncologia, Institut Oncològic Teknon, C/ Vilana 12 08022 Barcelona, Espagne

³ Hôpitaux universitaires de Genève (HUG) – Rue Gabrielle-Perret-Gentil 4 CH-1211 Genève 14, Suisse

Introduction. One of the most common side effects from radiotherapy treatment of localized prostate cancer remains erectile dysfunction. Vessel-sparing radiotherapy has shown promising results on preserving erectile function when compared to historical series. In this dosimetric study, we aim to evaluate the influence of an endorectal balloon (ERB) on the dose sparing of internal pudendal arteries (IPA) in treatment planning of prostate stereotactic RT (SBRT).

Methods. Twelve localized prostate cancer patients, simulated with and without ERB, were planned to receive 36.25Gy (7.25Gyx5) to the planning treatment volume (PTV). IPA were delineated on each scanners using registration with MRI. Plans with and without ERB were optimized using Rapidplan™ (Varian), a knowledge based software, with standard sparing of regionally involved organs at risk (rectal and bladder wall, and femoral heads) and no dose constraints on IPA. A total of 24 volumetric arc therapy plans were optimized using a 10MV FFF beam with 2 full arcs. SBRT doses to IPA (D2% and Dmean) were compared between groups using non-parametric tests.

Results. The IPA volumes were similar in the two CT datasets, with a median volume of 4.75 cc (range, 3.8-7.2) vs. 4.95 cc (range, 3.8-7, p=0.721) in patients with and without ERB, respectively. The median mean IPA dose was significantly lower using ERB (10.5 vs. 12.8 Gy, p=0.023). Median IPA D2% was also lower with ERB (17.6 vs. 20.8 Gy without ERB), but the difference was not significant. No clinically significant differences in target coverage, rectal, and bladder walls doses were observed between the two groups.

Conclusions. The use of ERB for prostate SBRT showed a significant sparing of IPA compared to plans generated with an empty rectum. As no specific dose constraints are yet available for vessel-sparing SBRT, optimal reduction of IPA doses should be attempted for maximal EF preservation.

*Auteur correspondant: maud.jaccard@hcuge.ch

†Intervenant

‡Auteur correspondant: angele.dubouloz@hcuge.ch

Mots-Clés: erectile function, vessel, sparing, pudendal arteries, stereotactic body radiotherapy, endorectal balloon, prostate cancer

Single shot stereotactic body radiotherapy for localized prostate cancer: case report

Nikolaos Koutsouvelis* ¹, Giovanna Dipasquale ¹, Angèle Dubouloz ^{†‡} ¹,
Maud Jaccard ¹, Raymond Miralbell ^{1,2}, Thomas Zilli ³

¹ Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG) – Rue Gabrielle Perret-Gentil, CH - 1211 Genève 14 - Suisse, Suisse

² Teknon Oncologic Institute – Servei de Radiooncologia, Institut Oncològic Teknon, C/ Vilana 12 08022 Barcelona, Espagne

³ Hôpitaux universitaires de Genève (HUG) – Rue Gabrielle-Perret-Gentil 4 CH-1211 Genève 14, Suisse

Introduction. We report on the quality assurance (QA) and treatment management of the first patient included in the ONE SHOT trial. ONE SHOT, single shot stereotactic body radiotherapy (SBRT) for localized prostate cancer, is a multicenter single arm phase I/II trial which will enrolled 45 patients in total. Its main objective is to determine the safety and efficacy of a single SBRT fraction at a dose of 19 Gy in patients with localized prostate cancer. Indeed, recent data showed good tolerance and biochemical control after single interstitial application of 19/20 Gy to the prostate or after SBRT in five fractions, so that ultra-hypofractionated single-dose SBRT employing imaged-guided radiotherapy and real-time tumour tracking with implanted electromagnetic transponders (Calypso® with DynamicEdge™ gating) may be feasible with a safe toxicity profile and an optimal long-term tumor control.

Methods. Three Calypso beacons were implanted in the patient prostate 4 days before the planning CT scan. The patient was imaged with empty rectum and full bladder with 1mm slices thickness. For urethra contouring and visualization during treatment, a non-radiopaque catheter was inserted during CT simulation and before the treatment delivery. The prescription dose was 19 Gy in a single fraction to the whole prostate gland +/- proximal seminal vesicles and 17 Gy to the urethra planning-risk volume (PRV). The plan consisted into 2 full VMAT arcs using 10MV FFF beam from the TrueBeam linac with 6 degrees of freedom couch. It was optimized on Eclipse TPS (Varian) with Rapidplan™, a knowledge-based planning software, and the dose was calculated with AAA v13026 algorithm. QA controls included portal dosimetry (PD) (Varian, PDIP v13026), absolute dose measurements with Diamond detector (PTW) inserted in Lucy 3D QA phantom (Standard Imaging) and Gafchromic film measurements (EBT-XD films).

Results. The treatment plan of the first ONE SHOT patient satisfied the dose-volume constraints for all OARs and the coverage requirement for the PTV and PRV. The total number of monitor units for the two arcs was 7125. The results of the PD QA were within the tolerance, with Gamma index 1%/1mm = 98.7%. For absolute dose measurement, the difference between expected and measured dose was 1.7% inside PRV and 3% in the PTV region. Film gamma index with 4%/1mm criteria was 97.4%. Patient positioning before treatment required two cone-beam CT (CBCT) before the first arc, because Calypso detected a 2mm shift in the longitudinal

*Auteur correspondant: nikolaos.koutsouvelis@hcuge.ch

†Intervenant

‡Auteur correspondant: angele.dubouloz@hcuge.ch

direction after the couch adjustment made after the 1st CBCT. The first arc was treated without interruption and a third CBCT was acquired between the arcs. However, no shift was observed and the second arc was treated without patient realignment.

Conclusions. QA results were all within the tolerance for SBRT treatment and the first ONE SHOT patient was treated successfully as planned.

Mots-Clés: single shot SBRT, prostate cancer, Calypso, Urethra sparing SBRT

Clinical use of 4D CBCT: ITV volume and amplitude study

Fanny Oger ^{* 1}, Pauline Dupuis ¹, Simon Rit ², Ronan Tanguy ¹, Thomas Baudier ², Myriam Ayadi-Zahra ¹

¹ Centre Léon Bérard [Lyon] – Université de Lyon, Université Lyon 1 – 28, rue Laennec 69373 LYON Cedex 08, France

² Laboratoire CREATIS-LRMN UMR CNRS 5220, Inserm U 630 – INSA, Université Claude Bernard Lyon 1 – 7, Avenue Jean Capelle 69621 Villeurbanne Cedex, France

Introduction: After the validation of the respiratory correlated CBCT using a dynamic thorax phantom, investigations on the accuracy of the 4D CBCT were made on clinical data (i.e patients 4D CBCT). A first study consisted in the evaluation of the difference in terms of positioning corrections between 3D CBCT and 4D CBCT images. Then, a second study compared the ITV volume between different imaging modalities (4D CT, 3D CBCT and 4D CBCT) and estimated the interfraction changes in breathing amplitude.

Materials and Methods: Five patients with a lung tumor treated in ITV strategy were included in the first study. They had both 3D CBCT and 4D CBCT pre-treatment images. A total of 44 CBCT images were retrospectively analyzed. A 4D CBCT image was first acquired and a 3D region-of-interest (ROI) mask registration was computed and applied in order to pre-position the patient. A 3D-CBCT image was then acquired and 3D ROI mask registration was computed but not applied. Only the patients treated with SBRT were included in the second study. A physician delineated ITV on different average images (4D CT, 3D CBCT and 4D CBCT) using a MonacoSim (Elekta) workstation. These contours were compared using a dice coefficient. Tumor motion amplitude from daily 4D CBCT was directly obtained with the on-line reconstruction software Symmetry (Elekta) and the amplitude variation was then computed.

Results: The average residual positioning corrections between 4D and 3D CBCT images were 0.06, 0.08 and 0.07 cm for LR, SI and AP direction respectively; and were respectively 0.41, 0.62, 0.21° for pitch, roll and yaw. From our preliminary results, the dice coefficients found were 0.77 ± 0.13 , 0.70 ± 0.14 and 0.84 ± 0.11 between 4D CT and 4D CBCT, 4D CT and 3D CBCT and 3D CBCT and 4D CBCT images respectively. Interfraction changes in breathing amplitude were negligible in the LR and AP directions. The average breathing amplitude variation was 0.31 cm in SI direction (maximum of 0.44 cm).

Conclusion: Similar positioning corrections were found using a 3D ROI registration on either a 3D CBCT image or a 4D CBCT image. Since 4D CBCT allows a better visual inspection, it is now systematically used for lung SBRT patient positioning. ITV contours study suggests an overestimation of the ITV from 4D CT images compared to 4D CBCT images. The dice coefficient showed a better correspondance between ITV from 4D CT compared to 4D CBCT

*Intervenant

than between ITV from 4D CT and 3D CBCT. However, a satisfying correlation between 3D CBCT and 4D CBCT ITV contours was found. Interfractional changes in breathing amplitudes need to be further investigated and compared to treatment margins.

Mots-Clés: 4D CBCT, amplitude variation, ITV volume

Tumor motion for SBRT and IMRT treatment of lung cancer

Milovan Savanovic * ^{1,2}, Jean-Noël Foulquier ²

¹ Faculté de Médecine (Université Paris Saclay) – faculté de médecine – 63 rue Gabriel Péri, 94 276 Le Kremlin-Bicêtre, France

² Service d’Oncologie-Radiothérapie (Hôpital Tenon AP-HP) – Hôpital Tenon – 4 rue de la Chine, 75020 Paris, France

Introduction: The aim of this study was to determinate breathing amplitude and amplitude of lung tumor motion for Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT) with small (5 cm) tumor volume.

Method and materials: In this study we had thirty male patients. The patients were separated in two groups depending on tumor volume and treatment technique. In the first group we had 15 patients with small volume who underwent SBRT treatment. While other group of 15 patients, with large volume, were treated with IMRT technique. All patients were scanned with GE Light-Speed scanner, IMRT patients one time (2.5 mm) and SBRT patients two times (1.25 mm) with interval of one week between two scans. The contouring was performed in all ten phases for all patients, in Varian Eclipse 13.7 treatment planning system (TPS).

Results: Amplitude of tumor motion was 5.9 mm (range from 2 to 10.9 mm) for tumor volume 3.8 cc (range from 0.7 to 11.2 cc) for SBRT patients. The IMRT patients had amplitude of tumor motion 2.9 mm (range from 2 to 4.8 mm) for tumor volume 120.4 cc (range from 44.4 to 416.2 cc). Breathing amplitude was 14.6 s (range from 8.5 s to 22.6 s) for SBRT patients and 12.1 s (range from 7.5 s to 18.2 s) for IMRT patients.

Conclusion: The mobility and direction of tumor motion depend of the localization in the lungs. While amplitude of breathing depends of general condition of patient, physiology of lungs, respiratory problems and pain.

Mots-Clés: Lung tumor, tumor motion, IMRT, SBRT

*Intervenant

Comparaison dosimétrique pour des traitements de métastases cérébrales en conditions stéréotaxiques

Maud Vande Woestyne ^{*† 1}, Georges Madelis ¹, Alexandre Roque ¹,
Nathalie Gaillot-Petit ^{‡ 1}

¹ Institut Jean Godinot, Département de Radiophysique – Fédération nationale des Centres de lutte contre le Cancer (FNCLCC) – 1 rue du général Koenig CS 80014 51726 Reims Cedex, France

Introduction. Le choix de la technique pour des traitements de métastases cérébrales en conditions stéréotaxiques se situe, en interne, au niveau de l'arthérapie conformationnelle dynamique (DCA, avec rotation de socle DCAR et sans DCA0) ou de l'arthérapie volumique avec modulation d'intensité (VMAT). L'étude consiste à déterminer quelle technique permet d'obtenir : la meilleure couverture sur le PTV avec un surdosage en son centre, une bonne épargne des organes à risques, en particulier au niveau du cerveau sain, et un nombre d'unité moniteur minimum.

Méthodes. Sur le système de planification de traitement Monaco de Elekta, en rétrospectif, huit patients atteints de métastases cérébrales pour un volume cible moyen de 9.13 cc [3.58 - 26.5] ont été sélectionnés. Six de ces patients ont été traités en DCAR/DCA0 et deux en VMAT sur l'accélérateur VERSA HD. Pour chacun des huit patients, les deux autres techniques de dosimétrie ont été réalisées rétrospectivement. Les indices dosimétriques HI, CI, CO, OCO1 ainsi que les couvertures au PTV, le surdosage, la taille de l'isodose 50% et les contraintes sur l'encéphale sain (V12Gy < 5.9cc, V18Gy < 1cc) ont permis cette comparaison. Les indices choisis ont été comparés via des tests non paramétriques signés de Wilcoxon.

Résultats. L'indice d'homogénéité est significativement plus important pour le DCA0, ainsi que pour le DCAR par rapport au VMAT. Le surdosage pour le DCA0 est significativement plus faible que pour les deux autres techniques. Pour les huit patients, la taille de l'isodose 50% est significativement inférieure avec une technique DCAR. Le gain sur l'encéphale sain (OCO) est significatif en utilisant un plan VMAT plutôt qu'un DCA0 ($p < 0.05$). Le VMAT épargne de manière significative l'encéphale sain au niveau de l'isodose 12Gy par rapport au DCA0 ($p = 0.031$). Il en va de même pour le DCAR par rapport au DCA0 ($p = 0.047$). Quant au nombre moyen d'UM délivré, on trouve 1738 UM pour un plan de traitement en VMAT contre 1449 (-16%) avec un DCAR et 1359 (-21.8%) pour le DCA0.

Conclusions. La comparaison entre DCA avec (DCAR) et sans rotation (DCA0) de socle a permis de déterminer que les faisceaux coplanaires avaient un intérêt significatif pour assurer un surdosage au centre du PTV, pour une isodose 50% plus étroite et une meilleure épargne

*Intervenant

†Auteur correspondant: maud.vandewoestyne@gmail.com

‡Auteur correspondant: nathalie.gaillot@reims.unicancer.fr

de l'encéphale sain. Les techniques DCAr et VMAT sont comparables sur ce dernier point. Cependant, l'utilisation de faisceaux non-coplanaires implique un temps de mise en œuvre et des contrôles supplémentaires considérables. L'étude sera poursuivie avec d'autres données patient afin de confirmer l'utilisation d'une technique VMAT, sur des volumes cibles de 3.58 à 26.5 cc.

Références

1. RTOG, Radiation Therapy Oncology Group, Index de couverture

Mots-Clés: stéréotaxie, DCA, VMAT, Métastases cérébrales

RT - Métrologie / AQ

Response to high energy photons of the redesigned PTW T31022 PinPoint 3D ion chamber

François Xavier Arnaud ^{*† 1}, Laure Vieillevigne ^{2,1}

¹ Institut Claudius Regaud - Institut Universitaire du Cancer de Toulouse (IUCT) – IUCT – 1 avenue Irène Joliot Curie, 31059 TOULOUSE, France

² Centre de Recherche en Cancérologie de Toulouse, UMR 1037 INSERM, Université Toulouse 3, ERL5294 CNRS (CRCT) – CRCT – 2 avenue Hubert Curien, 31100 TOULOUSE, France

Introduction: The aim of this study was to investigate the dosimetric performances of the new PTW T31022 PinPoint 3D which replaces the PTW T31016 PinPoint 3D.

Methods: Experimental data were collected using a Varian TrueBeam linear accelerator (Varian Medical Systems, Palo Alto) at nominal energies of 6 and 10 MV with (WFF) and without a flattening filter (FFF) (6WFF, 10WFF and 6FFF, 10FFF, respectively). Measurements of absolute and relative dosimetry were undertaken. Ion collection efficiency associated with Jaffé plots for different dose per pulse, polarity effect, beam profiles, depth dose curves (PDD) and output factors associated to small field output correction factors were investigated.

Results: The T31022 Jaffé plots were found to be more linear than those of the T31016. The use of the two-voltage technique is sufficient for clinical practice and is consistent with the accuracy of the Jaffé plots technique. Less polarity effect was found for T31022 compared to T31016. The polarity correction factor of the T31022 was dependent on the field size, although it was at a lesser extent than for the T31016. The largest deviation of polarity factors was obtained for the largest field size and for WFF beams. From 3x3 cm² to 40x40 cm² field sizes, excellent agreement was found between T31022 output ratios corrected from polarity and T31010 Semi-flex results, exhibiting maximum deviations of 0.2% for all energies. Without polarity correction maximum deviations are also relatively low reaching 0.7%, -0.4%, 0.7% and -0.4% for 6WFF, 6FFF, 10WFF and 10FFF respectively. The use of the chamber in small fields ($\leq 1 \times 1$ cm²) leads to an underestimation of output factors but presents lower field output correction factors than its predecessor. PDD curves present good agreement but discrepancies around 2% were observed for the largest field size and have been identified as a polarity dependence. This effect was moreover emphasized by keeping the electrometer at a distance less than 5 m from the water phantom.

Conclusions: The T31022 PinPoint 3D ion chamber is an improvement over its predecessor, the T31016, in terms of polarity, ion recombination and in small field dosimetry. The T31022 polarity correction factor has to be considered when measuring output factors and PDD for large field size.

*Intervenant

†Auteur correspondant: arnaud.francoisxavier@iuct-oncopole.fr

Mots-Clés: PInPoint, dosimetry, ion recombination

Détermination des FOC sur le Cyberknife M6 : comparaison de deux méthodes de correction appliquées à la mesure avec plusieurs détecteurs.

Julien Jurczak ^{*† 1}, Florent Courrech ¹, Karine Herlevin-Gerard ¹, Isabelle Buchheit ¹, Vincent Marchesi ¹

¹ Unité de radiophysique médicale, Institut de Cancérologie de Lorraine – Institut de Cancérologie de Lorraine - Alexis Vautrin – 6, avenue de Bourgogne - 54519 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

Introduction. Dans les petits faisceaux utilisés en radiothérapie en conditions stéréotaxiques, des précautions supplémentaires sont à prendre en compte dans la détermination des grandeurs dosimétriques utilisées pour la modélisation des algorithmes de calcul de dose¹. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés en particulier à la détermination des FOC sur le Cyberknife M6 (Accuray Inc., Sunnyvale, USA). Les mesures ont été réalisées à l'aide de différents types de détecteurs actifs et passifs avec une collimation fixe. Nous avons comparé l'application de deux méthodes de correction publiées par l'IAEA (TRS 483)¹ et par Francescon et al. recommandés par Accuray² et nous avons comparé ces résultats corrigés à ceux obtenus avec des films radiochromiques.

Méthodes. Les FOC bruts ont été mesurés avec trois détecteurs ponctuels PTW : les diodes type 60018 (SRS) et 60008, un détecteur microdiamant type 60019 et avec des films Gafchromic EBT3 (Ashland Inc., USA) pour l'ensemble des collimateurs fixes dans les conditions de référence du Cyberknife (DSA=80cm, z=1.5cm), 200 UM par mesure, cinq mesures par détecteur ponctuel et trois mesures par films. L'analyse des films a été faite avec le scanner Epson V750 Pro (Epson, Japan) et le logiciel ImageJ (NIH, USA).

Résultats. L'application des deux méthodes permet de réduire les écarts (liés à la problématique de la mesure en petits faisceaux) entre les détecteurs pour des tailles de collimateur supérieures ou égales à 7,5 mm (voir figure 1). Pour le collimateur de 5mm, la différence maximale entre deux détecteurs est de 9.6% sans corrections, et se réduit à 4.4% et 8% pour respectivement les facteurs correctifs selon Francescon et selon l'IAEA. En moyenne, les mesures corrigées se rapprochent des mesures par film avec une différence maximale passant de 3.8% à 2% et 2.1% pour respectivement Francescon et l'IAEA.

Conclusions. Les deux méthodes de correction amènent à des résultats similaires sur les FOC avec une bonne homogénéisation des valeurs inter-détecteurs, permettant une meilleure précision de la modélisation des FOC dans le TPS. Une transposition à l'Iris de ces facteurs est également possible³.

*Intervenant

†Auteur correspondant:

Références.

1. IAEA. Dosimetry of small static fields used in external beam radiotherapy. Technical Report Series 483. 2017.
2. Francescon P et al. Monte Carlo simulated corrections for beam commissioning measurements with circular and MLC shaped fields on the Cyberknife M6 System : a study including diode, microchamber, point scintillator, and synthetic microdiamond. *Phys. Med. Biol.* **62** 1642 (2017).
3. Francescon P et al. Monte Carlo simulated correction factors for machine specific reference field dose calibration and output factor measurement using fixed and iris collimators on the CyberKnife system. *Phys. Med. Biol.* **57** 3741–58 (2012).

Mots-Clés: mini faisceaux, dosimétrie, facteur d'ouverture du collimateur, facteurs correctifs

Determination of small MLC-fields output correction factors for four commercial detectors used in clinical dosimetry using GATE/Geant4 Monte Carlo simulations

Joey Labour *^{1,2}, Tony Younes^{1,2,3}, Maxime Chauvin¹, Luc Simon^{2,1},
Laure Vieillevigne^{1,2}

¹ Centre de Recherches en Cancérologie de Toulouse, UMR1037 INSERM (CRCT) – Université Toulouse 3 - ERL5294 CNRS – 2 avenue Hubert Curien, Oncopole de Toulouse, 31037 Toulouse Cedex 1, France

² Institut Claudius Regaud (ICR) – Institut Universitaire du Cancer de Toulouse – 1 avenue Irène Joliot Curie, 31059 Toulouse Cedex 9, France

³ Université Saint-Joseph de Beyrouth – Faculté de sciences, Campus des sciences et technologies, Mar Roukos - Dekwaneh, Liban

Introduction. The aim of this work is to calculate detector-specific output correction factors $k(Q_{clin}, Q_{msr})$ using Monte Carlo (MC) simulation for small nominal multi-leaf collimator (MLC) photon beams, according to the recent TRS-483 [1,2] protocol. $k(Q_{clin}, Q_{msr})$ is determined for four commercially available PTW active detectors (T31016 and T31022 PinPoint 3D ion chambers, T60019 microDiamond and T60017 Ediode) used for small photon fields measurements. This study considers the 6WFF, 6FFF and 10FFF nominal beams of a Varian Truebeam STx linear accelerator.

Methods. The precise geometries and material compositions of the detectors are modeled in detail in the Geant4 applications for emission tomography (GATE) code using blueprints and data provided by PTW-Freiburg. The accelerator head was formerly modeled in GATE for nominal small MLC photon fields ranging from 0.5 x 0.5 cm² to 3 x 3 cm², providing phase-space files as input to this study. Absorbed dose scored over the active volumes of the detectors in water are compared to absorbed dose scored in a small reference water volume in the simulations. $k(Q_{clin}, Q_{msr})$ obtained by MC simulations are compared to those obtained by EBT3 Gafchromic films and the T60003 PTW diamond detector measurements, considered as benchmarks. Combination of simulated and experimental output ratios are also used to report for $k(Q_{clin}, Q_{msr})$. Obtained MC values are then compared to data provided in the TRS-483.

Results. For the 6WFF, the absorbed dose scored in the detectors (T31016, T31022 and T60017) are in good agreement (< 2%) with the absorbed dose calculated in a small volume of water for the 1 x 1 cm² and 2 x 2 cm² MLC openings. The resulting uncertainties for the simulations are estimated to be within 0.5% at all field sizes. A good agreement was also found with the EBT3 and diamond measurements, with a relative difference of 1% for field sizes greater than 0.5 x 0.5 cm². In the worst case, for the 6WFF beam and 0.5 x 0.5 cm² field size, the Ediode response differs from that of EBT3 by around 4%. The output ratio for field sizes smaller than 2

*Intervenant

x 2 cm² are overestimated by the T60017 diode and underestimated by the T31016 and T31022 ion chambers. This work shows an overall good agreement, within 1.5% relative difference with stated values in the TRS-483.

Conclusions. Simulations in GATE for the determination of $k(Q_{\text{clin}}, Q_{\text{msr}})$ demonstrate comparable results with values obtained with EBT3 film and T60003 diamond detector measurements. Results for the 6FFF and 10FFF and for the T60019 are ongoing.

References

1. IAEA. *Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy An International Code of Practice for Reference and Relative Dose Determination.* (IAEA, 2017).
2. Alfonso R. *et al.* A new formalism for reference dosimetry of small and nonstandard fields. *Med. Phys.* **35**, 5179–5186 (2008).

VMAT complexity metrics can reduce patient QA workload

Michel Mathot * 1

¹ Service de Radiothérapie, CHU de Liège. – Centre Hospitalier Universitaire de Liège, Domaine Universitaire du Sart Tilman B35 B-4000 Liège 1, Belgique

VMAT complexity metrics can reduce patient QA workload.

Michel Mathot(a), David Dechambre(b)

(a)Service de radiothérapie, Centre Hospitalier Universitaire de Liège/Liège/Belgium

(b)Radiation therapy department, Cliniques Universitaires St Luc, Université Catholique de Louvain/Belgium

Introduction. With the growing use of complex treatments such as VMAT, physics workload has increased in regards to pre-treatment patient specific QA. In this work, we evaluated the ability of 8 RTPLAN-based metrics to predict robust treatment delivery.

Methods. Ninety-three VMAT plans were delivered on the ArcCHECK system using global 2%/2 mm (90 % passing points) and 3%/3 mm (95 %) gamma index criteria. Using patient's DICOM RTPLAN and Python scripting, we calculated the following aperture-based metrics from Crowe et al [1]: MFA (Mean Field Area), MAD (mean Aperture Displacement), SAS (Small Aperture Score: threshold 10 mm), CLS (Closed Leaf Score), CAS (Cross Axis Score), and from Mc Niven et al [2] the MCS (Modulation Complexity Score) deliverability metric. In addition, we developed a novel metric based on TPS second dose calculation using a different leaf offset modelling: LOIC(PTV) (Leaf Offset Impact on Calculation) is defined as the percentage variation of PTV mean dose with respect to the leaf offset parameter in the model (from 0.5 to 0 mm) and aims to quantify the "MU-weighted global narrowness" of MLC aperture. Finally the total MU per Gy delivered was tested. Correlation between gamma passing rates (GPR) and metrics values was assessed using Pearson's r-coefficient. Receiver-operating characteristic (ROC) analysis was performed to determine appropriate complexity threshold values above which a plan should be considered either for re-optimization (high specificity) or exempt from QA measurements (100 % sensitivity).

Results. Out of 93 plans, 77 and 41 passed the 3%/3mm and 2%/2mm gamma criteria. Table 1 shows absolute Pearson's r coefficients, associated p-value and ROC Area Under the Curve (AUC) for the 8 metrics and 2 gamma criteria.

A strong correlation ($p < 0.001$) was observed between GPR and LOIC, CAS, MCS, SAS

*Intervenant

and MU/Gy. The highest Pearson's r value was obtained for LOIC (0.66 and 0.69). ROC curves showed the best results for LOIC versus GPR 3%/3mm, with AUC of 0.92.

A LOIC threshold of 1.7 % allowed for the identification of robust delivery with a false positive rate of 6.5 % and a true positive rate of 69 %, which makes re-planning a relevant option. On the other hand, a LOIC threshold of 1.25 % provided no false negative (full sensitivity), allowing for a workload reduction of 49 %.

Conclusions. From the 8 metrics evaluated, LOIC was the most powerful tool in order to identify sparsely/overly modulated plans before time-consuming QA measurements are performed, allowing to halve the patient QA workload and to improve plan accuracy/deliverability.

References.

- Australas Phys Eng Sci Med (2014) 37 475-482. *Treatment plan complexity metrics for predicting IMRT pre-treatment quality assurance results.* Crowe et al.
- Med Phys 37 (2), February 2010, pp 606-616. *A new metric for assessing IMRT modulation complexity and plan deliverability.* McNiven et al.

Mots-Clés: VMAT, metrics, patient QA

Mise en place et contrôle qualité du Dynamic Wave Arc Sur l'accélérateur dédié SBRT VERO

Jocelyne Mazurier *¹, Delphine Marre[†]¹, Nicolas Mathy¹, Daniel Zarate¹,
Jeremy Camilleri¹, Olivier Gallocher¹, Gaelle Jimenez¹, Baptiste Pinel¹,
Christian Chevelle¹, Denis Franck¹, Igor Latorzeff¹

¹ Service Radiothérapie, Groupe Oncorad Garonne, Clinique Pasteur – CLINIQUE PASTEUR – rue de la petite vitesse 31100 TOULOUSE, France

Introduction

En SRS/SBRT, les faisceaux non-coplanaires avec table fixe sont largement utilisés. Depuis 2017, l'accélérateur dédié SBRT VERO (Brainlab, Mitsubishi) dispose d'une nouvelle approche de traitement permettant des rotations simultanées bras/anneau selon des trajectoires prédéfinies : le Dynamic Wave Arc (DWA), réalisant en 1 seul arc un traitement VMAT non coplanaire dynamique. Ce travail présente la mise en place et le contrôle qualité du DWA.

Méthodes

Le VERO est composé d'une tête d'irradiation gyroscopique avec MLC permettant de suivre les mouvements de la tumeur (Dynamic Tacking DT), le tout embarqué sur un anneau mobile (O'ring). Le TPS Raystation (Raysearch) a récemment développé pour le VERO un module d'optimisation spécifique pour la technique du DWA.

Les données de base pour les champs de $1 \times 1 \text{ cm}^2$ à $15 \times 15 \text{ cm}^2$, nécessaires à la modélisation du VERO dans le TPS et à la validation du modèle, ont été mesurées avec la diode Edge (SunNuclear) et de la chambre 0.125cc (PTW) dans la cuve ronde 3DS (SNC) adaptée sur l'anneau (vérin vissé sur l'anneau).

L'accord mesures/calculs a été évalué à l'aide du logiciel ScanDoseMatch (qxrayconsulting.com). Les caractéristiques du MLC (MLC position, effet Tongue and Groove, Leaf tip, Transmission..) ont été définies à l'aide de champs tests MLC, de films EBT3 et du logiciel d'analyse Doselab Pro. La validation de la modélisation des faisceaux a été effectuée selon le protocole ESTRO 2004.

Les tests cliniques pour des irradiations en IMRT, VMAT et DWA ont été réalisés à l'aide de plusieurs détecteurs et fantômes : les films EBT3 calibrés en dose selon une procédure prédéfinie assurant une précision dosimétrique de 3%, le fantôme CIRS062, le détecteur 3D Archeck (SunNuclear), ainsi que le système composé du fantôme StéréoPhan (SunNuclear) et de la nouvelle matrice de diodes SRSMaPcheck (SunNuclear). Cette matrice est composée de 1013 diodes réparties dans un champ $7.7 \times 7.7 \text{ cm}^2$ et permet des mesures avec des faisceaux non coplanaires

*Intervenant

[†] Auteur correspondant: d.marre@clinique-pasteur.com

(corrections angulaire de la réponse des diodes)

L'accord entre les distributions de dose mesurées et calculées a été évalué à l'aide de la méthode du gamma index, avec des critères différents selon le matériel utilisé.

Résultats

La modélisation des faisceaux dans Raystation, évaluée selon le protocole ESTRO2004, montre que 95% des tests ont un gamma < 1 pour 2%1mm.

Les valeurs de MLC position, Transmission, Leaf Tip et Tongue and Groove permettant d'avoir un accord pour les champs MLC testés sont respectivement de 0.008cm, 0.2% , 0.3 cm et 0.03cm.

L'ensemble des résultats cliniques montrent un accord entre calcul et mesures avec un gamma inférieur à 1 pour (2%2mm) dans l'Archeck, (3%1mm) pour les films et (2%1mm) pour la matrice SRSSMapcheck.

Conclusion La technique DWA est une méthode fiable permettant de traiter rapidement avec 1 seul Arc modulé et des trajectoires non-coplanaires. La prochaine étape serait de l'associer au Dynamic Tracking

Mots-Clés: Dynamic Wave Arc, SBRT

Assurance qualité patient du nouvel accélérateur linéaire halcyon (Varian)

Daniel Nguyen * ¹, Florentin Josserand Pietri ¹, Cristina Sporea ²,
Mustapha Khodri ¹

¹ ORLAM (Villeurbanne-Lyon-Macon) – Service de radiothérapie – 55 avenue Jean Mermoz 69008
LYON, France

² ORLAM (Villeurbanne-Lyon-Macon) – Service de radiothérapie – 44 Avenue Condorcet, 69100
Villeurbanne, France

Introduction.

Récemment mis en service dans nos centres, l'accélérateur linéaire mono énergie 6xFFF (800UM/Min) de dernière génération HALCYON (Varian Medical Systems) a été installé avec le TPS Eclipse V15.5, tous les algorithmes et les paramètres dosimétriques du multi-lames ayant été pré-configurés par le constructeur : RCMI/VMAT (PO V15.5.1.1), AAA, la dosimétrie portale, Leaf Gap dosimétrique = 0.010 cm et le facteur de transmission des lames = 0.005 (soit 0.5%)

L'objectif de cette étude consiste à valider l'assurance qualité des plans de traitement générés afin de s'assurer de la précision des algorithmes préconfigurés par rapport à la machine et vérifier si nous avons besoin d'ajuster la modélisation.

Méthodes.

Vingt et un cas (ORL, Prostate, SBRT poumon/foie/moelle, SRS, Sein VMAT etc.), issus de compétitions internationales de dosimétrie, ont été téléchargés sur le site medicalaffairs.varian.com. 15 plans avec la technique RCMI et 14 plans VMAT ont été importés. En complément, 10 plans de traitement du cancer de sein en RCMI ont également été générés.

Les outils dosimétriques utilisés pour la validation sont : la dosimétrie portale utilisant comme algorithme de calcul AAA (Anisotropic Analytical Algorithm) V15.5.1.1, la matrice Mapcheck2 (Sun Nuclear) et un détecteur 3D Arccheck (Sun Nuclear).

Résultats.

Concernant la dosimétrie portale, nous obtenons en moyenne pour les plans RCMI un gamma global (3%,3mm) = $99.88 \pm 0.19\%$ et gamma local (3%,3mm, seuil 10%) = $99.06 \pm 0.84\%$. De la même façon pour les plans VMAT, un gamma global moyen (3%,3mm) = $99.68 \pm 0.39\%$ et un gamma local moyen (3%,3mm, seuil 10%) = $98.08 \pm 1.53\%$.

Pour les 10 plans RCMI sein, les résultats entre la dosimétrie portale et le mapcheck2 sont proches et correspondent respectivement pour un gamma moyen local (3%,3mm, seuil10%) =

*Intervenant

$99.9\pm 0.28\%$ et $99.56\pm 0.65\%$.

D'autres analyses sont en cours de réalisations et notamment avec le détecteur 3D Arccheck pour les plans VMAT.

Conclusions.

Les premiers résultats mettent en évidence une très bonne concordance entre les mesures et les calculs pour les différents plans contrôlés. Les algorithmes préconfigurés montrent une grande robustesse lors de leur utilisation en routine clinique.

Mots-Clés: Halcyon, Assurance qualité, VMAT, RCMI

Dosimétrie des mini faisceaux d'électrons réalisée avec quatre types de détecteurs

Intidhar Saidani * ^{2,1}, Lotfi Ben Salem ¹, Mounir Besbes ^{2,1}

² l'Institut Supérieur des Technologies Médicales de Tunis (istmt) – 9 Rue Zouhair Essafi 1006 TUNIS, Tunisie

¹ institut Salaeh Azaiez (isa) – Boulevard du 9-Avril 1938 1006 Tunis, Tunisie

Introduction. Le calcul précis de la dose par le système de planification du traitement (TPS) dépend de la qualité des données de base mesurées utilisées pour configurer les modèles de faisceaux. Il convient de choisir le détecteur le plus adapté aux conditions expérimentales et au besoin de précision requis sur la connaissance de la dose absorbée et de sa distribution spatiale. *Méthodes.* L'objectif de ce travail portera sur la caractérisation dosimétrique des petits champs de taille de 2 à 6 cm des faisceaux d'électrons des énergies 6,9,12,16 et 20 MeV générés par l'accélérateur linéaire Clinac iX. Les rendements en profondeur Rps, les profils de doses et les facteurs d'ouverture de collimateur FOC ont été réalisés par les quatre différents types de détecteurs fabriqués par PTW-Freiburg (la chambre cylindrique Micro-ion chamber PTW Pinpoint 3D 0,016cm³, la chambre plate à face parallèle Markus PTW 23343 et les deux détecteurs solides PTW60017 non-shielded [E] diode, et PTW 60019 microDiamond).

Résultats. Les RPs montrent un bon accord de $\pm 1\%$ entre les courbes mesurées par la diode et la microDiamand. Les deux détecteurs solides sont caractérisés par le petit volume sensible indiquant leur aptitude à la dosimétrie des mini faisceaux d'électrons. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par (Laub 2014). Un écart de 2.5 % a été trouvé entre la chambre Markus et la microDiamand avec les plus grandes différences correspondante à la région de fort gradient de dose et ainsi à la région à proximité de la surface de l'eau où les détecteurs sont partiellement dans l'air. Le détecteur diamand et la diode ont fourni directement la courbe en dose tandis que les corrections dépendantes de la profondeur étaient nécessaires pour la chambre d'ionisation Markus. La diode présente les pénombres les plus étroites avec une moyenne de différence de 0,6mm par rapport à celle mesurés par le détecteur diamand. La chambre d'ionisation PinPoint montre la résolution spatiale la plus faible, avec un élargissement de la pénombre par rapport aux valeurs de diode et du diamant. L'écart du FOC trouvé entre la chambre Markus et le détecteur diamant est inférieur à 2% sauf dans le cas où la taille de l'insert 2*2 cm² pour toutes les énergies et ce ci est expliqué par l'effet de la taille du Markus sur la mesure. Un bon accord entre les deux détecteurs solides est observé sauf dans le cas des faibles énergies 6 MeV et pour la taille du champ 2*2.

Conclusions. Les propriétés dosimétriques observées indiquent que les détecteurs microDiamand et la diode sont les plus performants pour la dosimétrie du petit faisceau d'électrons en radiothérapie.

*Intervenant

References

- Laub, et al. Clinical radiation therapy measurements with a new commercial synthetic single crystal diamond detector. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 15(6), 92-102 (2014).
- IAEA .” Technical Report Series No. 398 (Vienna, 2000).
- Di Venanzio C, et al . Characterization of a synthetic single crystal diamond Schottky diode for radiotherapy electron beam dosimetry *Med. Phys.*40(2): 021712(2013)

Mots-Clés: diode, small field, electron beam, diamand

Utilisation d'un dosimètre de type GaN en Curiethérapie Haut débit de dose: Une nouvelle approche des contrôles de qualité des projecteurs de source et des contrôles patients prétraitement

Thomas Brun * ¹, Aurelie Tournier *

¹ Département d'Ingénierie et de Physique Médicale (DIPM) – Institut Universitaire du Cancer de
Toulouse – 1 Avenue Irene Joliot Curie, 31059, Toulouse, France

Introduction.

La curiethérapie à Haut débit de dose est une technique de traitement utilisant une source radioactive scellée à l'intérieur de la tumeur. Du fait des forts gradients et des fortes doses par fraction, les conséquences sur l'administration de la dose peuvent être importantes si des erreurs se produisent.

Afin de vérifier et de s'assurer que la dose est correctement administrée, des contrôles de qualité (CQ) sont effectués sur le projecteur selon les recommandations de l'ESTRO BOOKLET 8. De nombreux outils, complexes à utiliser, existent. Nous avons donc participé au développement d'un outil d'assurance qualité (AQ) pour vérifier les paramètres machine ainsi que la dose délivrée.

Méthodes.

Dosilab a développé le Securidose, un fantôme instrumenté à 4 dosimètres au nitrure de gallium (GaN). Le fantôme peut héberger différents inserts pour réaliser les CQ du projecteur. Des méthodes de calcul spécifiques basées sur les réponses du GaN sont utilisées pour déterminer avec précision les temps d'arrêt et les positions de source.

Nous avons validé le système Securidose et vérifié la précision des positions d'arrêt de la source et de la dose mesurée selon les directives ESTRO (respectivement 2mm et 5%). Cette validation a été réalisée sur 10 mesures avec une dose prescrite de 5Gy, répétée pour les 3 inserts (Cf. figure 1).

Ensuite, nous avons introduit des erreurs de positionnement de source allant de 1 à 10 mm pour tester la détectabilité des erreurs ainsi que l'impact sur la dose mesurée. Enfin, nous avons développé un insert à 6 canaux pour effectuer des mesures quantitatives spécifiques au patient. Enfin, des mesures ont été effectuées sur le fantôme pour évaluer la répétabilité et la reproductibilité du système.

Résultats.

Après 10 mesures successives, nous n'avons pas observé d'écarts significatifs entre la mesure et le calcul sur les positions d'arrêt de la source et la dose (Cf. tableau 1).

*Intervenant

Comme le montre la figure 2, nous avons observé que l'écart de dose est supérieur à la recommandation ESTRO de 5% lorsque l'écart sur la position de source dépasse 2 mm sur l'insert à 1 canal et 3 mm pour les 2 autres types d'inserts respectivement.

Conclusion.

L'intérêt de ce système est multiple; d'une part, les CQ machine peuvent être effectués rapidement et simplement en une acquisition. D'autre part, le Securidose équipé de l'insert à 6 canaux permet une vérification quantitative des plans de traitement spécifiques au patient avant le traitement.

Mots-Clés: Curiethérapie, assurance qualité, dosimètre GaN

Evaluation du module Delivery Analysis (Accuray), comparaison avec le Delta4

Jimmy Fontaine ^{*†} ¹, Fabian Taesch ^{*}

¹, Abdourahamane Djibo-Sidikou ^{*}

¹, Aurelie Bertosi ^{*}

¹, Paul Retif ^{*}

1

¹ CHR Metz Thionville – Centre hospitalier régional Metz-Thionville – Hôpital de Mercy 1, allée du château - 57530 Ars-Laquenexy, France

Introduction. Le module Delivery Analysis utilise le signal reçu par le détecteur au xénon de la Tomothérapie afin de remonter au temps d'ouvertures de lames (TOLs) et comparer le sinogramme mesuré à celui attendu. Au CHR Metz Thionville, il est utilisé en Tomothérapie en parallèle des mesures réalisées sur le Delta 4 pour les contrôles prétraitements depuis plus de deux ans. Dans cette étude, nous proposons une comparaison de ces deux outils de mesures.

Méthodes. Dans un premier temps, une évaluation de la répétabilité et la reproductibilité des deux outils est réalisée.

Ensuite, une étude rétrospective des résultats obtenus pour 82 patients, toutes localisations confondues, est menée. Les pourcentages de points passant le critère gamma index 3%-3mm avec un seuil à 10% pour les différents plans sont mis en regard des détecteurs ainsi que des paramètres des plans de traitements.

Enfin, une série de mesures avec des plans volontairement modifiées est réalisée sur le Delta 4 afin de tester la dépendance des résultats avec la période de rotation. Pour ce faire, neuf plans ont été créés à partir d'un même séquençement du MLC : en modifiant la période de rotation entre 11 secondes et 30 secondes tout en préservant les TOLs.

Résultats. La répétabilité et reproductibilité du module Delivery Analysis sont mesurées respectivement à 0,06% et 0,51% contre 0,43% et 0,92% pour le Delta 4.

L'étude rétrospective n'a pas permis de mettre en évidence une corrélation entre les résultats obtenus avec le Delta 4 et Delivery Analysis.

*Intervenant

†Auteur correspondant: jim_f@hotmail.fr

Cependant, en s'intéressant aux paramètres des plans de traitements, on remarque qu'avec le Delivery Analysis on observe une corrélation importante du pourcentage de points passant le critère gamma avec la période de rotation qui n'est pas visible avec le Delta 4 (figure 1).

La série de mesures réalisée avec des périodes de rotation différentes sur le Delta 4 semble confirmer qu'il n'y a pas de corrélation entre les performances de la machine et la période de rotation. En effet, une diminution de seulement 2% du pourcentage de points passant les critères gamma est constatée pour des périodes de rotation passant de 30 secondes à 11 secondes.

Figure 1- Résultats de l'analyse gamma 3%-3mm sur le delta 4 et Delivery Analysis en fonction de la période de rotation

Conclusions. Le module Delivery Analysis peut apporter un gain de temps considérable pour la réalisation des contrôles prétraitements avec une très bonne répétabilité/reproductibilité de la mesure. Cependant, les résultats obtenus avec le module sont difficilement corrélables à ceux obtenus au delta 4. De plus, ils semblent anormalement corrélés à la période de rotation. Ces résultats sont à confirmer avec plus de mesures.

Mots-Clés: Contrôle qualité prétraitement, tomotherapie

Vers des nouveaux modes de fonctionnement ? Amélioration d'un fonctionnement basé sur les nouvelles technologies

Mathieu Gonod *¹, Igor Bessieres¹, Fabienne Bidault¹, Julien Boudet¹,
Aurélie Petitfils¹, Leone Aubignac¹

¹ Centre Georges-François Leclerc, Dijon (CGFL) – CRLCC Georges-François Leclerc – 1, rue du Pr
Marion 21079 Dijon Cedex, France

Introduction. Quel que soit le service de radiothérapie, le circuit du patient est désormais parfaitement identifié et connu par toutes les équipes médicales et paramédicales intervenants dans la prise en charge d'un patient. Néanmoins, les contraintes techniques des traitements et des machines de plus en plus perfectionnés, les délais de prise en charge de plus en plus courts et les disponibilités du temps machine de plus en plus réduites sont autant de points critiques qui requiert une stratégie de gestion efficace pour coordonner les différentes équipes et ne pas déséquilibrer les fonctionnements existants.

L'arrivée de nouvelles technologies et de nouveaux moyens d'analyses appliqués à la radiothérapie permettent de donner des réponses à ces interrogations ou tout du moins d'appliquer des schémas décisionnels qui orientent les choix.

Méthodes. La validation des plans de traitement du CGFL a été revue en se basant sur les matériels / systèmes d'analyse apparus sur le marché ces 5 dernières années.

La réflexion s'est tournée sur deux points critiques dans notre fonctionnement. Le premier est la gestion du temps utilisé par l'équipe de physique au niveau de la machine de traitement. Le deuxième a été l'obtention d'information nécessaire à l'amélioration de la spécificité du contrôle par dosimétrie in vivo.

Résultats. La mise en place de la maîtrise des procédés et de l'analyse statistique anticipée des plans de traitements permettrait " d'économiser " plusieurs heures de temps d'utilisation machine dédié au contrôle de qualité des plans. En effet, seuls les plans de traitement ayant des indices de modulation qui sortent des spécifications de la MSP seront contrôlés. Tous les autres plans ne nécessitant statistiquement plus de CQ patient feront l'objet d'un contrôle qualité on line grâce à une matrice de détecteur ajoutée à la sortie de l'accélérateur. Cette vérification permettra d'avoir une vérification quotidienne de tous les plans de traitement délivrés.

La mise en place de la dosimétrie transit apporte une information sur la délivrance de dose pendant le traitement. Malheureusement, elle ne peut pas identifier rapidement la source d'erreur (faisceau, machine, mouvement patient, ...). Afin de guider la décision, deux systèmes ont été ajoutés. Le premier, la matrice de détecteur positionné à la sortie de l'accélérateur, permet

*Intervenant

d'orienté sur un dysfonctionnement de la machine ou un écart de positionnement / mouvement du patient. Le second spécifiera si le patient a bougé pendant le traitement. Le suivi est réalisé grâce à un système de reconstruction surfacique. Si ces deux systèmes n'ont pas permis d'identifier l'origine du problème, il en résulte que l'écart de dose délivrée est lié aux différences anatomiques internes des patients liés à des modifications de densités (mouvements respiratoires, réplétion gastro intestinale, ...).

Conclusions. Ce nouveau mode de fonctionnement optimisé, permettra de réduire le temps d'utilisation de la machine pour les contrôles de qualité dédiés aux patients et d'améliorer la spécificité du contrôle de dosimétrie in vivo. Il est même possible d'envisager, après une corrélation entre la variation anatomique du jour (reconstruction surfacique 3D) et les résultats de DIV transit, un index anticipant le fait de mauvaise délivrance du faisceau et ainsi de ne pas procéder à l'irradiation.

Mots-Clés: Dijon, gonod, workflow, fonctionnement, nouvelle, technologie

Evaluation préliminaire sur fantôme du détecteur à transmission DELTA4 Discover pour des traitements VMAT

Aurélia Mana ^{*}, Julien Feuillade ¹, Mathieu Gautier, Laure Burgaud, Claudine Colnard, Catherine Dejean ^{*}

1

¹ Centre Antoine Lacassagne – CRLCC Antoine Lacassagne – 33, avenue de Valombrose, 06189 Nice cedex 2, France

Introduction. Evaluer le comportement du Delta4 Discover lors de la délivrance de traitement VMAT et déterminer les seuils de détection d'erreurs.

Méthodes. Le détecteur à transmission Discover (Scandidos) est positionné à la sortie du faisceau d'un accélérateur linéaire d'électrons Varian Clinac 2100C avec un MLC millenium 120 lames. Il est constitué de 4040 diodes d'un diamètre d'1mm, elles sont espacées de 5 mm perpendiculairement au déplacement des lames et de 2.5mm dans le sens de déplacement des lames couvrant un champ de 19.5 cm x 25 cm. L'atténuation a été mesurée pour les deux faisceaux de photons 6 et 18 MV à l'isocentre (champ de 10cm x 10cm à 10 cm de profondeur). La répétabilité du système a été évaluée en contrôlant 3 plans de traitement VMAT. Ils ont également été mesurés en insérant séquentiellement différentes erreurs comme la position des lames, le changement d'énergie, l'épaisseur et le positionnement du patient. Les erreurs de position de lames ont été insérées pour 3 paires de lames sur 4 points de contrôle de chaque arc. Les paramètres suivants peuvent être analysés :

- Le gamma index de la distribution de dose (3%-3mm),
- La dose délivrée en fonction de l'angulation du bras ($\Delta=\pm 1\%$)
- L'angulation du collimateur ($\Delta=\pm 1^\circ$)
- Le gamma index du MLC : le signal du faisceau est intégré toutes les 25ms en mesurant l'angle du bras et la position du bout des lames.

Résultats. L'atténuation mesurée est de 1.3% en 6MV et 0.9% en 18MV. La répétabilité donne des résultats avec un écart-type moyen de 0.7% et un maximum à 1.6% pour les 3 plans de traitement sur le calcul du gamma index. Les résultats montrent systématiquement une diminution du score du gamma index global de plus de 80% lorsque l'énergie des plans de traitement est modifiée. Les résultats mettent en évidence un écart du gamma index MLC de -6% à -8% avec

^{*}Intervenant

des écarts de position de lames supérieurs à 2mm sur un arc ayant sur les 12 erreurs insérées : - 5 sont $>$ à 2mm - 5 sont comprises entre 1 mm et 2mm - 2 sont $<$ 1mm. Les lames dont les positions ne sont pas celles attendues sont correctement identifiées.

Conclusion. Le système Discover est un atout pour le contrôle pré et per traitement des patients traités par VMAT. La modélisation de l'atténuation directement dans le TPS est un avantage pour une utilisation quotidienne sur la totalité des traitements. L'ensemble des paramètres mesurés peuvent mettre en évidence des déviations ou d'anticiper l'usure prématurée de certains composants du collimateur.

Mots-Clés: Détecteur transmission contrôle pré traitement

Enquête ASN-IRSN sur la dosimétrie *in vivo* en radiothérapie externe : quelles solutions et stratégies pour repousser la frontière du ” techniquement mesurable ” ?

Patrice Roch * ¹, Aurélie Isambert ², Cécile Etard ¹

¹ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) – Ministère de l’écologie de l’Energie, du Développement durable et de l’Aménagement du territoire, Ministère de la santé, Ministère de la Défense, Ministère de l’Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, Ministère de l’économie, de l’industrie et de l’emploi – BP17 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex, France

² Autorité de sûreté nucléaire (ASN) – République Française – 15 rue Louis Lejeune – CS 70013 – 92541 Montrouge Cedex, France

Introduction. La dosimétrie *in vivo* (DIV) est une obligation réglementaire en France pour tout faisceau ” techniquement mesurable ”, depuis 2008 (critère d’agrément n°15 de l’INCa pour la pratique de la radiothérapie externe). Reposant historiquement sur des techniques de mesure ponctuelle adaptées à la radiothérapie conventionnelle, l’applicabilité de cette méthode de DIV a fortement diminué avec la dissémination des techniques de radiothérapie modulée (RCMI, VMAT). La majorité des centres de radiothérapie français pratiquent ces techniques avancées (près de 70 % en 2013, INCa [1]), qui représentent parfois près de 100 % des traitements. La part des faisceaux ” non techniquement mesurables ” croît alors très rapidement et de nouvelles solutions doivent être envisagées pour garantir un niveau de contrôle satisfaisant des traitements. Devant ce constat issu des pratiques observées lors des inspections, l’ASN a souhaité connaître les solutions de DIV - en particulier celles dites de ” transit ” reposant sur l’usage de l’imageur portal (EPID) - disponibles ou en développement, les contraintes techniques et organisationnelles de la DIV de ” transit ” et son articulation avec les autres types de contrôles.

Méthodes. L’IRSN a rencontré les principaux fournisseurs de solutions de DIV, ou de contrôles comparables, et s’est rendu dans des services de radiothérapie ayant une expérience dans le domaine. La position de la SFPM a été recueillie, dans la continuité de l’avis SFPM de 2014 [1].

Résultats. L’étude a permis d’identifier les principales solutions de DIV de ” transit ” actuellement proposées et à venir, ainsi que des solutions alternatives ou complémentaires telles que l’analyse et le suivi des paramètres ” machine ”. Des entretiens avec les physiciens médicaux, il est ressorti que la DIV s’inscrit dans un processus global de vérification de la dose délivrée au patient et peut difficilement se substituer aux contrôles réalisés en l’absence du patient. La définition des critères d’intervention ou de validation des résultats de la DIV, l’identification de l’origine des écarts et l’interprétation des résultats constituent les principales difficultés rapportées, ainsi que l’ergonomie des dispositifs, les outils de suivi et d’analyse, l’accessibilité des données et la nécessité de moyens humains conséquents. Les attentes des équipes en matière de DIV, et donc les exigences et moyens alloués, sont variables, d’une seule recherche de conformité

*Intervenant

réglementaire jusqu'à la mise à profit de la DIV comme outil de radiothérapie adaptative.

Conclusions. L'offre de solutions de DIV dans les techniques de radiothérapie les plus avancées est en progression. La DIV reposant sur l'EPID est la plus utilisée mais, en routine, reste souvent circonscrite aux techniques conventionnelles. L'exploitation et l'interprétabilité des résultats constituent la principale difficulté rencontrée par les équipes, les incitant à l'élaboration d'une stratégie de vérification des traitements dont la DIV est un maillon et non la solution ultime et globale.

Mots-Clés: Radiothérapie, dosimétrie in vivo, imageur portal

Amélioration dosimétrique d'un système de vérification prétraitement basé sur l'EPID par apport d'un modèle de double source pour les faisceaux de photons issus des accélérateurs linéaires

Arnaud Rozes * ¹, Tommy Billoux[†] ¹, François Husson ², Véronique Dedieu ¹

¹ Centre Jean Perrin – CRLCC Jean Perrin – 58 rue Montalembert, 63011 Clermont-Ferrand Cedex, France, France

² DOSIsoft – DOSIsoft – 45 Avenue Carnot, 94230 Cachan, France

Introduction. Les algorithmes de calcul de dose basés sur la convolution de point-kernel requièrent une modélisation précise de la fluence en énergie incidente. A la source primaire vient s'ajouter la contribution des photons diffusés par le collimateur primaire et le filtre égalisateur (source extra-focale). Sans modélisation explicite de la source extra-focale en fonction de la position des différents éléments de collimation, des écarts jusqu'à 5% peuvent être observés (Alaei, 2010) par rapport à la mesure pour certains arrangements des éléments de collimation. Les solutions de vérification prétraitement reposant sur l'EPID utilisent généralement des modèles de convolution de la fluence avec la réponse impulsionnelle du détecteur. Afin d'être parfaitement fiables, ces méthodes exigent une prédiction de l'image portale la plus précise possible pour être confrontée à l'image acquise.

Ce travail décrit l'implémentation et la validation d'un modèle de source extra-focale dans le calcul de l'image prédite sur l'EPID pour des faisceaux de fluence standard (FF) et FFF (Flattening Filter Free).

Méthodes. Les faisceaux 6MV FF et FFF sont générés par un TrueBeam STx® (MLC HD120, EPID aS1200). Les champs carrés avec des ouvertures permutées des mâchoires et des bancs de lames de 5 à 22 cm sont élaborés avec Eclipse® (Varian). Les mesures de dose de référence dans l'eau sont menées sur l'axe, avec le détecteur microDiamond à DSA et 5cm de profondeur. Les images portales prédites et acquises sont traitées avec la solution EPIbeam® (Dosisoft). Le modèle de prédiction calcule le plan de dose attendu à DSA à une profondeur de 5 cm dans l'eau à partir du fichier DICOM RT Plan, qui est ensuite comparé à l'image portale acquise convertie en dose.

Les performances de calcul du TPS, des modèles de prédiction et de conversion en dose EPIbeam, sans et avec implémentation d'un modèle de source extra-focale simulant principalement les effets du cône égalisateur, sont confrontées aux mesures de référence dans l'eau.

*Intervenant

[†]Auteur correspondant:

Résultats. L'écart maximal observé entre les calculs TPS et les mesures est inférieur à 1%. Les valeurs de dose relevées sur l'image EPID convertie sont conformes aux mesures microDiamond (écart inférieur à 1%).

Pour les fluences FF, le modèle de prédiction EPIbeam présente, avec le modèle de source primaire seule, des écarts de dose avec le détecteur microDiamond jusqu'à 4% pour les petites ouvertures du MLC et des positions de mâchoires rétractées. Après l'implémentation du modèle de source extra-focale, les écarts observés restent inférieurs à 1% quelle que soit la configuration. Pour les faisceaux FFF, les écarts sont dans tous les cas inférieurs à 1%.

Conclusions. Si pour les faisceaux FFF, l'implémentation d'un modèle de source extra-focale est facultative (la contribution du collimateur primaire demeurant faible), cette étude confirme son intérêt pour la précision des calculs dosimétriques des solutions de contrôle pré-traitement pour les faisceaux FF.

Mots-Clés: EPID, AQ, EPIBeam

Détection des erreurs de collimateur multi-lames avec EPIBeam pour les contrôles qualité des plans de traitement en arcthérapie dynamique

Aurore Seneclauze ^{*† 1}, Philippe Boissard^{‡ 1}, Thomas Baudier ², Pauline Dupuis ¹, Claude Malet ¹

¹ Centre de Lutte Contre le Cancer Léon Bérard – CRLCC Léon Bérard – 28, rue Laënnec 69373 Lyon Cedex 08, France

² Laboratoire CREATIS-LRMN UMR CNRS 5220, Inserm U 630 – INSA, Université Claude Bernard Lyon 1 – 7, Avenue Jean Capelle 69621 Villeurbanne Cedex, France

Introduction. Ces dernières années, le nombre de patients traités par arcthérapie dynamique n’a cessé de croître. En effet, cette technique permet un bon compromis entre la dose délivrée au volume cible et celle reçue par les organes avoisinants. Pour obtenir cette complexité, le collimateur multi-lames est particulièrement sollicité. Afin de garantir la capacité de l’accélérateur à délivrer chaque plan de traitement, des contrôles sont recommandés. Dans le but de réduire le temps nécessaire à leur réalisation, l’utilisation des imageurs portails est intéressante (Herman 2001). Cette étude propose d’évaluer si, associés au logiciel EPIBeam (Dosisoft®), ils sont capables de détecter des erreurs de lames ayant un impact clinique significatif.

Méthodes. 10 plans de traitement de patients traités pour un cancer de la prostate par arcthérapie dynamique sur un accélérateur Synergy (Elekta®) ont été contrôlés par analyse gamma 3%/3mm en global selon deux méthodes. La première méthode utilise l’ArcCheck (SunNuclear®) et la deuxième utilise l’imageur portal IView GT (Elekta®) associé au logiciel EPIBeam. Pour chaque plan, des erreurs de lames ont été introduites. Toutes les lames d’un même banc ont été ouvertes de 0.5, 1, 2 et 3mm. L’impact clinique de ces erreurs a été évalué dans le logiciel de planification MONACO (Elekta®). Ces plans modifiés ont été contrôlés à leur tour. Un contrôle est jugé satisfaisant si plus de 95% des points ont un gamma index supérieur à 1.

Résultats. Pour les plans de traitement planifiés sans erreur de lames, EPIBeam obtient de meilleurs résultats d’analyse gamma: moyenne = 99,8% [Min : 98.7% / Max : 100%] contre 99% [Min : 98.1% / Max : 99.7%] avec l’ArcCheck. Pour des erreurs inférieures ou égales à 1 mm, tous les contrôles sont dans les tolérances pour les deux modalités. Pour des erreurs de 2mm, le nombre de plan de traitement dans les tolérances est de 1/10 pour l’ArcCheck contre 4/10 avec EPIBeam. Pour des erreurs de 3mm, aucun plan n’est dans les tolérances pour l’ArcCheck alors qu’un plan passe pour EPIBeam. Parallèlement l’impact clinique de ces erreurs a été montré comme non négligeable. En effet, elles entraînent l’augmentation de la dose maximale à la paroi rectale en moyenne de 2.9% pour 2mm et de 4.9% pour 3mm.

*Intervenant

†Auteur correspondant: Aurore.SENECLAUZE@lyon.unicancer.fr

‡Auteur correspondant: Philippe.BOISSARD@lyon.unicancer.fr

Conclusions. Selon les critères d'analyse utilisés, les contrôles pré-traitements avec EPIBeam détectent moins d'erreurs de lames que l'Arccheck. Pour améliorer l'efficacité de ces contrôles, il apparaît intéressant d'ajuster les critères d'évaluation et/ou de les compléter par d'autres tests tels que l'analyse des fichiers logs de l'accélérateur (Defoor 2017).

References

1. Herman *et al.* Clinical use of electronic portal imaging: report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 58. *Medical Physics* **28**, 712-137 (2001)
2. Defoor *et al.* Investigation of error detection capabilities of phantom, EPID and MLC log file based IMRT QA methods. *Journal of applied clinical medical physics* **18**, 172-179 (2017)

Mots-Clés: arcthérapie, contrôle qualité patient, imageur portal

Optimisation de la résolution angulaire du calcul de dose en VMAT pour la solution Delta4DVH Anatomy

Hugo Agostini ¹, Jean-Marc Nigoul * ¹

¹ Hôpital de la Timone [CHU - APHM] (TIMONE) – Hôpital de la Timone [CHU - APHM] – 264 rue Saint Pierre 13385 Marseille cedex5, France

Introduction. Il est aujourd’hui possible de comparer la distribution de dose réellement délivrée dans l’anatomie du patient au Système de Planification de Traitement (TPS). Le logiciel Delta4DVH Anatomy (Scandidos, Suède) calcule les doses délivrées (selon deux algorithmes : Pbc Anatomy ou TMM Anatomy) dans la géométrie du patient en tenant compte de ses hétérogénéités. Cependant, les temps de calcul sont longs et peuvent prendre plusieurs heures, ce qui complique l’utilisation du logiciel en routine. Pour les traitements par modulation d’intensité volumétrique par Arc Thérapie (VMAT), il est possible de modifier la résolution angulaire des points de contrôle pour le calcul dans le logiciel Delta4DVH Anatomy par rapport à celle du TPS. En augmentant la valeur de cet angle, cela permet d’accélérer le calcul au détriment de la précision. L’objectif de ce travail est de trouver un compromis entre la vitesse de calcul des doses délivrées dans l’anatomie du patient et la précision des résultats.

Méthodes. Cette étude a été effectuée sur 5 cas de prostate, 5 cas de crâne et 5 cas ORL traités sur un Synergy Beam Modulator (Elekta AB, Suède). Après irradiation des plans de traitement sur le fantôme Delta4, des calculs de distribution de la dose dans l’anatomie du patient ont été réalisés à plusieurs reprises à partir du logiciel Delta4DVH Anatomy en modifiant la résolution angulaire. La résolution angulaire de 20 qui est utilisée pour le calcul des plans VMAT dans le TPS Pinnacle v9.2 (Philips Medical System Inc, USA) a servi de référence dans le logiciel. Pour chacune des résolutions angulaires choisies dans le logiciel, le résultat des calculs a été comparé à la résolution angulaire de référence (20) à l’aide des histogrammes dose-volume (HDVs). Les écarts en dose (%DE) entre les HDVs ont été calculés pour des volumes cibles (D95%, Dmoy, D2%) et des organes à risque (Dmoy, D2%). Les deux algorithmes Pbc Anatomy et TMM Anatomy ont été utilisés pour cette étude.

Résultats. Nous n’avons pas observé de différences notables entre les deux algorithmes et nous avons pu déterminer un angle optimal de 50 pour les crânes et ORL et de 60 pour les prostatites (angle maximal pour lequel les %DE sont en moyenne de l’ordre d’un pourcent avec un faible écart-type). En moyenne, il a été possible de gagner de deux à trois heures de calcul en choisissant ces angles pour effectuer le calcul.

Conclusions. L’étude permettra d’économiser un temps considérable pour le calcul de doses délivrées dans l’anatomie du patient par le logiciel. Elle a toutefois porté sur un faible échantillon de patients et, si elle permet de conjecturer un angle optimal pour chaque localisation, elle

*Intervenant

ne peut constituer une statistique fiable. Il faudra mener une étude plus approfondie afin de vérifier ces résultats.

Mots-Clés: VMAT, Delta4DVH Anatomy, résolution angulaire

Characterization of an optical dosimeter fiber for radiotherapy use

Oreste Allegrini ^{*† 1}, Régis Amblard ¹, Rémy Villeneuve ¹, Nicolas Garnier ¹, Benjamin Serrano ¹

¹ Princess Grace Hospital – Monaco, Monaco

Purpose: Optical dosimeter fiber (FOD) with small dimension and promising scintillation properties are investigated in radiotherapy especially in small field. We propose to study FOD dosimetric characteristic towards its answer on small fixed 3x3cm² beams of a Varian linear accelerator with flattening-filter-free (FFF) option.

Methods: The measurements were performed by TrueBeam-Novalis with 6MV, 15MV, 6MVFFF and 10MVFFF photon beams, dose rate varied up to 600MU/min for two first beams and up to 1400 and 2400MU/min for others. The inorganic scintillator has an emission at approximately 620nm (DoseVue NV). The hemispherical detector was fixed on a 1mm diameter optical fiber to guide the light to a photodetector. Signal is converted in relative dose toward DoseWireTM system. We studied repeatability, reproducibility, linearity and dose rate response using slab solid water and 0.125cc reference ionization chamber (IC) (PTW). StereoPHANTM (Sun Nuclear) phantom was used for radial FOD angular response. The results are expressed as [(2*Standard-Deviation)/Mean]*100.

Results: The excellent repeatability, for 20 measurements, of 6MV, 6MVFFF, 10MVFFF and 15MV beams were respectively 0.18%, 0.19%, 0.14% and 0.12% for FOD and 0.06%, 0.04%, 0.14% and 0.07% for IC. The reproducibility, for 10 measurements, were 5.5% (FOD) and 1.3% (IC). The relative dose/UM linearity between 5 and 10000UM for the 6MV, 6MVFFF, 15MVFFF and 15MV were respectively 1.1%, 0.7%, 1% and 1.2% (FOD) and 0.6%, 0.2%, 0.14% and 0.2% (IC). The dose rate answer for 6, 15MV and 6, 10MVFFF were respectively 0.3%, 0.27% and 0.5%, 0.6% (FOD), 0.3%, 0.1% and 0.1%, 0.15% (IC). The FOD angular response was 1.2%.

Conclusion: All similar results of FOD in comparison of reference 0.125cc IC for the repeatability, dose linearity and dose rate make this scintillator a good relative detector. The isotropic and small size scintillator have promising relative dosimetry applications in small fields.

*Intervenant

†Auteur correspondant: oreste.allegrini@chpg.mc

Characterization of an aSi-1000 EPID response in integrated and continuous acquisition modes for SBRT dosimetry applications

Ana Rita Barbeiro *¹, Laure Parent², Frederic Chatrie³, Régis Ferrand⁴, Fouad Younan⁵, Luc Simon^{6,7}, Laure Vieilleveigne^{8,9}, Delphine Lazaro¹⁰, Dominique Tromson¹¹, Anne-Laure Cunrath¹², Marie-Véronique Le Lann¹³, Jocelyne Mazurier⁵, Xavier Franceries^{14,15}

¹ Centre de Recherches en Cancérologie de Toulouse (CRCT) – Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale - INSERM : UMR1037 – 2 avenue Hubert Curien, 31037 Toulouse, Cedex 1, France

² Département d'ingénierie et de physique médicale – Institut Universitaire du Cancer de Toulouse - Oncopole – 1 avenue Irène Joliot-Curie, 31059 Toulouse Cedex 9, France, France

³ Centre de Recherche en Cancérologie de Toulouse (CRCT) – Université Paul Sabatier - Toulouse 3, CHU Toulouse [Toulouse], Hôpital Purpan, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : U1037 – Place du Docteur Baylac - BP 3028 - 31024 Toulouse Cedex 3, France

⁴ Département d'Ingénierie et de Physique Médicale, IUCT-Oncopole (IUCT-O) – CRLCC Institut Claudius Regaud – 1 Av. Irène Joliot-Curie, 31100 Toulouse, France

⁵ Service de Radiothérapie, l'Atrium, Clinique Pasteur – Groupe Oncorad-Garonne – 1, rue de la Petite-vitesse, 31300 Toulouse, France

⁶ Centre de Recherche en Cancérologie de Toulouse (CRCT) – Université Paul Sabatier - Toulouse 3, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : U1037 – 2 avenue Hubert Curien - CS 53717 3 1037 TOULOUSE Cedex 1, France

⁷ IUCT - ONCOPOLE – CHU Toulouse – 1 Av. Irène Joliot-Curie 31100 Toulouse, France

⁸ Institut Claudius Regaud (ICR) – Institut Universitaire du Cancer de Toulouse – 1 avenue Irène Joliot Curie, 31059 Toulouse Cedex 9, France

⁹ Centre de Recherches en Cancérologie de Toulouse, UMR1037 INSERM (CRCT) – Université Toulouse 3 - ERL5294 CNRS – 2 avenue Hubert Curien, Oncopole de Toulouse, 31037 Toulouse Cedex 1, France

¹⁰ Laboratory of Systems Modelling and Dependability (LM2S), CEA Saclay – Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique – 91191 Gif-sur-Yvette, France, France

¹¹ Laboratory of Systems Modelling and Dependability (LM2S), CEA Saclay – Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique – 91191 Gif-sur-Yvette, France

¹² Laboratory of Systems Modelling and Dependability (LM2S), CEA Saclay – Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives – 91191 Gif-sur-Yvette, France

¹³ Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes [Toulouse] (LAAS) – Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT, Université Paul Sabatier (UPS) - Toulouse III, CNRS : UPR8001, Institut National des Sciences Appliquées [INSA] - Toulouse – 7 Av du colonel Roche 31077 TOULOUSE CEDEX 4, France

¹⁴ Université Paul Sabatier-Toulouse III, UMR1037 CRCT (UPS) – Université Paul Sabatier (UPS) - Toulouse III, UMR1037 – F-31000 Toulouse, France, France

¹⁵ Inserm, UMR1037 CRCT (CRCT) – Université Paul Sabatier (UPS) - Toulouse III, Inserm : U1037 – F-31000 Toulouse, France, France

Introduction. The amorphous silicon (a-Si) electronic portal imaging devices (EPIDs) mounted

*Intervenant

on linacs have been extensively studied and have shown dose-response characteristics suitable for dose verification. Their use for dosimetric purposes is already in clinical routine. However, the response of EPID in continuous acquisition mode was not so studied in literature, and in less extent when considering it for dosimetric applications in stereotactic body radiotherapy (SBRT) conditions (i.e. small fields, and high dose rates using flattening filter free (FFF) beams). The purpose of this work was therefore to characterize the EPID response in terms of relevant dosimetric properties, mainly for the potential use of continuous mode for further SBRT dosimetry with dynamic techniques.

Methods. The EPID used in this study was the aSi-1000 model installed on a Varian TrueBeam-STx. Its response was characterized in FFF photon beams with nominal energies of 6 and 10 MV and maximum available dose rates (1400 and 2400 MU/min, for 6 and 10 MV respectively). Different sets of images were acquired in both integrated and continuous modes, with EPID at 150 cm from the source, to study dose linearity, repeatability and reproducibility of response, field-size dependence, ghosting effect and response to energy spectrum variations. Before data acquisition, dark field and flood field images were acquired for offset and gain corrections. As fluctuations in dose rate can potentially influence the response of EPID when using dynamic techniques with continuous acquisition mode, the linearity of EPID response was further evaluated by irradiating a 10x10cm² field in 20° and 90° arcs focusing on low MU range (3-100MU), and was also compared to static irradiations.

Results. Generally, comparable results in terms of dose response linearity, and signal stability for both acquisition modes were obtained, although slightly better for integrated mode. As example, the comparison of EPID response-to-MU ratios for both modes and for the evaluation using the arc field is presented in Fig.1, for the 6MV FFF. Variations in linearity response were within 2.5% and 2.9%, respectively for the integrated and continuous mode, at lower MUs.

Conclusions. The characterization of the aSi-1000 EPID response to relevant dosimetric properties was investigated, showing the feasibility of its use for dosimetry with FFF beams and high dose rates. Results for continuous mode, which differed from dosimetric non-linearity reported in previous published studies¹, also encourage the use of EPID for SBRT with dynamic techniques in future works for 3D dosimetry applications (e.g. quality assurance including in-vivo dosimetry).

References

1. McCurdy, B. M. C. & Greer, P. B. Dosimetric properties of an amorphous-silicon EPID used in continuous acquisition mode for application to dynamic and arc IMRT. *Med. Phys.***36**, 3028–3039 (2009).

Etude et caractérisation du système de contrôle qualité patient ArcCheck en tomothérapie

Jean-Pierre Cleuziou *¹, Philippe Chartier¹, Roddy Sihanath¹, Jean Yves Giraud¹

¹ CHU Grenoble Alpes – Service de radiothérapie – Boulevard de la Chantourne 38043 Grenoble CEDEX 9, France

Introduction. Ce travail porte sur l'étude du contrôle qualité (CQ) des plans de traitements en tomothérapie à l'aide d'un détecteur composé d'un réseau hélicoïdal de diodes (ArcCheck – Sun Nuclear). Bien que de nombreuses études récentes aient démontré l'efficacité et la précision dosimétrique de ce type de détecteur, il est nécessaire de mieux comprendre les facteurs régissant l'acceptabilité des plans de traitements. Dans ce contexte, une étude statistique rétrospective des CQ est nécessaire, afin de quantifier et caractériser l'évolution de la distribution statistique des mesures par rapport aux tolérances cliniques.

Méthodes. Les CQ ont été réalisés sur les plans des patients traités sur deux équipements de tomothérapie (TomoTherapy – Accuray), à l'aide du système ArcCheck (modèle 1220)1. Les distributions de dose mesurée et calculée ont été comparées selon la méthode de l'indice gamma grâce au logiciel SNC Patient (version 6.7.2 ; Sun Nuclear). L'analyse statistique rétrospective des mesures est présentée dans le cadre des outils de la méthode statistique des procédés (MSP)2.

Résultats. Ce travail présente les étapes préliminaires requises à la mise en œuvre des outils de la MSP pour l'étude statistique rétrospective des CQ des plans de traitements en tomothérapie. La détermination de l'aptitude du moyen de mesure (réseau de diodes ArcCheck) est présentée, ainsi que la caractérisation de la distribution des mesures pour différentes localisations des plans de traitement.

Conclusions. La détermination de la performance du processus de contrôle dans le cadre de la MSP devrait permettre d'optimiser les conditions de réalisation des contrôles et d'évaluer dans quelle mesure la mise en œuvre non systématique de ces contrôles pourrait être envisageable, tout en garantissant la sécurité des traitements des patients.

References

1. Kozelka, J. et al., Optimizing the accuracy of a helical diode array dosimeter: A comprehensive calibration methodology coupled with a novel virtual inclinometer. Med. Phys. 38, 5021-5032 (2011).
2. Gérard, K. et al., A comprehensive analysis of the IMRT dose delivery process using statis-

*Intervenant

tical process control (SPC). *Med. Phys.* **36**, 1275–1285 (2009).

Mots-Clés: tomothérapie, contrôle qualité, arccheck, MSP

Développement d'un outil de détermination expérimentale 3D de la dose délivrée aux tissus sains en radiothérapie externe

Julie Colnot ^{*} ¹, Guillaume Garnier ¹, Sofia Zefkili ², Régine Gschwind ³,
Christelle Huet ¹

¹ Laboratoire de Dosimétrie des Rayonnements Ionisants (IRSN/PSE-SANTE/SDOS/LDRI) – Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) – 31 avenue de la Division Leclerc 92260 Fontenay-aux-Roses, France

² Institut Curie – Institut Curie – 26 rue d'Ulm 75248 PARIS CEDEX 05, France

³ Université de Bourgogne-Franche-Comté – Université de Bourgogne-Franche-Comté – 4 Place Tharradin 25200 Montbéliard, France

Introduction. Ces dernières années, l'évolution du traitement du cancer a permis une augmentation du taux de survie des patients. Dans plus de la moitié des cas, la radiothérapie est une étape du traitement. Cette technique, d'efficacité reconnue, conduit inévitablement à l'irradiation des tissus sains alors susceptibles de développer des complications radio-induites¹. De plus, l'espérance de vie plus importante des patients augmente le risque que des effets secondaires à long terme (seconds cancers) se manifestent. Evaluer les risques représente alors un enjeu important. Dans cette optique, un outil expérimental a été développé permettant d'évaluer les doses délivrées aux tissus sains par les différentes techniques de radiothérapie, prérequis pour l'évaluation des risques.

Méthodes. L'outil, développé sous Matlab, est basé sur la reconstruction en 3 dimensions de la dose à partir de mesures en 2D de la dose réalisées à l'aide de films radiochromiques disposés entre les tranches d'un fantôme. L'outil procède dans un premier temps au recalage spatial fin des mesures films sur la dose calculée par le TPS au niveau du volume cible et ensuite, par interpolation des doses mesurées sur les films, à une reconstruction 3D de la dose aux tissus sains. Enfin, les données dosimétriques d'intérêt tels que les histogrammes dose-volume sont évaluées. Une première validation de l'outil a été réalisée à l'aide du fantôme EasyCube équipé de deux films séparés de 2 cm au niveau du PTV. Ce fantôme scanné et contouré a été irradié selon un plan de traitement avec les films en place. Un protocole² rigoureux, développé au laboratoire, a été utilisé pour analyser les films.

Résultats. Les comparaisons planaires et volumétriques entre distributions mesurées et planifiées se sont avérées satisfaisantes. En effet, 89.2% des points passent le gamma-index 3mm/3% lorsque l'on compare la distribution de dose interpolée au niveau d'une coupe se situant à égale distance des deux films à celle planifiée. De même, un écart de 2.6% sur la dose moyenne au PTV a été observé entre les deux distributions et l'écart moyen entre les isodoses 0.4 Gy est de 0.10 mm sur la coupe intermédiaire.

^{*}Intervenant

Conclusions. L'outil original développé dans ce travail permet de déterminer de manière expérimentale les doses délivrées aux tissus sains, données dosimétriques d'intérêt pour les modèles d'évaluation du risque. L'étude préliminaire de faisabilité a donné des résultats prometteurs. Un travail de validation et d'optimisation de cet outil sur un plus grand volume est en cours. Pour finir, une validation avec des mesures 3D par gels dosimétriques est également envisagée.

Références

1. Xu, X. G. *et al.* A review of dosimetry studies on external-beam radiation treatment with respect to second cancer induction. *Phys. Med. Biol.* **53**, R193-R241 (2008)
2. Moignier, C. *et al.* Development of a protocol for small beam bi-dimensional dose distribution measurements with radiochromic films. *Rad. Meas.* **89**, 107-118 (2016)

Mots-Clés: radiothérapie, dose, tissus sains, dosimétrie 3D, films radiochromiques

Analyse de la qualité des traitements de RT cranio-spinaux (CSI) en Tomothérapie hélico'idale (TH) et en protonthérapie à l'Institut Curie.

Mathieu Dartiguemalle * ¹, Sandra Caneva-Losa ¹, Malika Amessis ¹, Claire Alapetite ¹, Noëlle Pierrat ¹

¹ Institut Curie – Institut Curie – 26, rue d'Ulm; Paris 5e, France

Introduction. Depuis 2010, une cinquantaine de patients, ont été traités par CSI en TH (Accuray) avec un boost photon ou proton selon l'indication. Cette population fait l'objet d'une analyse de la qualité des plans de traitement. Depuis l'installation des mâchoires dynamiques (TomoEdge, 2014) et des mises à jour du TPS (Volo), on a modifié nos protocoles cliniques pour optimiser les traitements. Les objectifs et les contraintes des volumes PTV encéphale et PTV nevraxe, \pm PTV boost, ainsi que des OARs sont basés sur notre expérience clinique (groupe SIOP : tumeurs cérébrales). Des indices de qualités (IQ) tel que l'indice d'homogénéité HI (valeur optimale zéro) et l'indice de conformité : le Target Coverage TCO (valeur optimale 100%) sont déterminés.

Méthodes. L'ensemble des données patients ont été collectées et triées suivant leur prescription médicale sous MS Excel. Les IQ sont obtenus via l'export des plans de traitement du TPS vers le logiciel Artiview (Aquilab, France) au format DICOM. La représentation des données dosimétriques sur Artiview a fait l'objet d'une validation complète, notamment sur les indicateurs dosimétriques tels que la dose moyenne, dose maximale, dose minimale, IQ, D95%, grille de calcul, etc... La faisabilité de ce projet a ensuite été réalisé sur un échantillon de dix patients traités en 36 Gy (1,8 Gy/fraction) sans boost.

Résultats. On observe une évolution des protocoles cliniques implémentés notamment sur les choix de la dimension du collimateur (2,5 cm à 5cm), du pitch, du facteur de modulation, avec une diminution importante du temps de traitement (35 min à 10 min), tout en gardant la couverture des PTVs et les contraintes imposées sur les OARs. Les écarts relatifs entre des indicateurs dosimétriques du TPS et Artiview sont inférieurs à 1,3%.

Pour les PTVs :

PTV encéphale : Dmoy = 36,3 Gy, D95% = 34,3 Gy, HI = 0,125 (0,056 - 0,502) et TCO = 97,3% (87,6% - 99,8%). PTV nevraxe : Dmoy = 36,4 Gy, D95% = 34,8 Gy, HI = 0,095 (0,061 - 0,211) et TCO = 97,1% (82,1% - 99,9%).

Pour les OARs :

*Intervenant

Œil : Dmoy = 13,9 Gy. Cristallin : Dmax = 7,8 Gy. Cavité buccale : Dmoy = 9,6 Gy. Thyroïde : Dmoy = 12,9 Gy. Poumons : Dmoy = 6,6 Gy, V20Gy = 6,4%. Cœur : Dmoy = 11,1 Gy. Foie : Dmoy = 7,0 Gy. Reins : Dmoy = 4,7 Gy, V12Gy = 5,8%. Ovaires : Dmax = 1 Gy. Testicules : Dmax = 0,2 Gy.

Conclusions. Nous avons validé la faisabilité de l'ensemble du processus. L'étude complète portera sur l'ensemble de la population en fonction des indications thérapeutiques. La modification des IQ est envisageable pour une meilleure représentation des données. Enfin, une comparaison avec des traitements conformationnels et/ou protons pourra également être apportée.

Mots-Clés: Tomothérapie, Irradiation crânio-spinal, Indicateurs dosimétriques, Indices de qualité

Expérience de Gustave Roussy sur la mise en œuvre/compatibilité de RayStation et d'iViewDose

Kim-Maly Ea * ¹, Alain Duval ¹, Julien Vautier ¹, Dimitri Lefkopoulos ¹

¹ Institut Gustave Roussy (IGR) – Institut Gustave Roussy (IGR) – 114, rue Édouard-Vaillant 94805 Villejuif Cedex -France, France

Introduction. A Gustave Roussy, les dosimétries VMAT font l'objet de contrôles de qualité pré-traitement afin de s'assurer que les doses calculées lors de la planification dosimétrique sont bien celles délivrées lors des séances de radiothérapie. Ces contrôles sont actuellement effectués grâce au logiciel SNC patient (SunNuclear) avec le fantôme ArcCheck (SunNuclear). Or cette technique requiert d'avoir un ArcCheck de disponible (irradiation VMAT réalisées sur 3 VersaHD) et nécessite une analyse des résultats par les physiciens médicaux. Afin d'optimiser cette activité, le logiciel de dosimétrie de transit iViewDose (Elekta) a été installé afin de réaliser ces contrôles de qualité pré-traitement avec un fantôme de plaque équivalent eau. La mise en place de cette nouvelle technique permet d'une part de démontrer la compatibilité du logiciel de planification dosimétrique RayStation (RaySearch Labs) avec iViewDose et d'autre part de comparer des résultats des contrôles de qualité pré-traitement obtenus avec SNC patient et iViewDose.

Méthode. La première partie de notre travail a été de commissionner iViewDose. Une première série d'acquisition de champs carrés couplé à une mesure de dose absolue permettent de caractériser l'imageur portal. Une seconde série d'acquisition est réalisée afin de vérifier la cohérence du modèle calculé. Une fois le commissioning achevé, des acquisitions de différentes tailles de champs carré et d'un plan de traitement VMAT permettent de vérifier la cohérence du modèle. La seconde partie du travail est de valider iViewDose afin de pouvoir l'utiliser en routine clinique dans le futur. Pour cela, les contrôles de qualité pré-traitement sont réalisés dans un fantôme de plaques équivalents eau et les résultats sont comparés avec ceux obtenus lors des contrôles de qualité pré-traitement réalisés actuellement avec SNC patient.

Résultat. Les résultats des mesures de vérification de cohérence du modèle permettent de valider le commissioning d'iViewDose. De plus, les faibles écarts entre les résultats des contrôles de qualité pré-traitement réalisés avec SNC patient et avec iViewDose tendent à valider l'utilisation d'iViewDose en routine clinique.

Conclusion. Les premiers résultats des contrôles de qualité pré-traitement à Gustave Roussy permettent de conclure qu'iViewDose est compatible avec RayStation. Cependant, nous n'avons pas encore assez de résultats pour valider cette technique et l'utiliser en routine clinique.

*Intervenant

References

1. Mijnheer, B. J. *et al.* Overview of 3-year experience with large-scale electronic portal imaging device-based 3-dimensional transit dosimetry. *Practical Radiation Oncology* (2015)
2. Lafond, C. *et al.* Dosimétrie portale avec iViewDose : de la théorie aux premières mesures au Centre Eugène Marquis (2017)
3. Olaciregui-Riu, I. *et al.* iViewDose feature and clinical implementation. (2017)
4. Olaciregui-Riu, I. *et al.* Pre-treatment and in vivo dose verification of IMRT and VMAT treatment using Elekta iViewDose. (2017)

Mots-Clés: iViewDose, contrôle de qualité pré, traitement, RayStation

Implémentation du module contrôle qualité MOD-ISO-CBCT+ de QUALIFORMED sur Agility d’Elekta

Geoffroy Guibert ^{*† 1}, Jean-Paul Tripod^{‡ 1}, Claire Tamburella^{§ 1}, Pelagia Tsoutsou^{¶ 1}, Patrick Weber^{|| 1}

¹ Hôpital Neuchâtelois (HNE) – Rue du Chasseral 20, CH-2300 la Chaux-de-Fonds, Suisse

Implémentation du module contrôle qualité MOD-ISO-CBCT+ de QUALIFORMED sur Agility d’Elekta

Introduction. Le module ISO-CBCT+ de Qualiformed assure en un test le contrôle qualité des iso centres (taille et position) et des angles de rotation du bras, du collimateur et de la table. Pour les traitements non coplanaires ou SBRT, les tolérances mécaniques peuvent être plus restrictives [1]. Le module comprend 3 fantômes (sphère OTP-ISO+, plaques OP-CROSS-MV et OTP-CROSS-KV). Ces objets "Cross" génèrent un point fixe provenant de la source sur l'image [2]. Plusieurs dispositifs de fixation de ces plaques OTP-CROSS ont été évalués avec pour objectif convivialité, sécurité et reproductibilité.

Méthodes. Pour l’OTP-CROSS-KV, un filtre non utilisé est recyclé et peint en rouge. La partie interne est remplacée par une plaque plexi usinée de manière à l’insérer en position S. Les presets kV sont définis en mode service uniquement. Pour fixer l’OTP-CROSS-MV trois dispositifs sont testés. Deux à l’aide du plateau porte bloc et un à l’aide d’un croisillon Mylar recyclé. Setup 1: une plaque acrylique est usinée pour centrer OTP-CROSS-MV. Setup 2: l’irradiation d’un film gafchromic, placé au dessus du support, avec un champ en forme de croix suisse, définit les axes pour centrer OTP-CROSS-MV. Setup 3: un croisillon Mylar modifié, pour une fixation rigide, sert de support et d’alignement de l’OTP-CROSS-MV avec le croisillon Mylar du linac. L’OTP-ISO+ est aligné avec les lasers. Chaque setup MV est testé avec la même position de sphère pour pouvoir les comparer.

Résultats. Notre porte bloc ne génère aucun jeu mécanique supplémentaire par rapport au croisillon Mylar. Le dispositif 1 projette sur l’image les billes OTP-CROSS-MV à la surface de la sphère OTP-ISO+. Le dispositif 2 nécessite une préparation plus technique (gafchromic + détermination des axes). Bien qu’il soit lourd, le porte bloc permet un positionnement reproductible d’OTP-CROSS-MV. Le dispositif 3, léger, nécessite un bon alignement des deux croisillons respectifs. Il est serré à l’aide d’écrous. Ne pas l’oublier.

*Intervenant

†Auteur correspondant: geoffroy.guibert@h-ne.ch

‡Auteur correspondant: Jean-Paul.Tripod@h-ne.ch

§Auteur correspondant: claire.tamburella@h-ne.ch

¶Auteur correspondant: pelagia.tsoutsou@h-ne.ch

||Auteur correspondant: patrick.weber2@h-ne.ch

Conclusions Ce kit de contrôle dédié (fixation des objets "cross") est "plug and play", reproductible, sûr, disponible. La détermination des axes de positionnement pour le dispositif 2 (partie supérieure du porte bloc) est rendu possible grâce à l'utilisation des films gafchromic. L'introduction d'un système de sécurité pour le dispositif 3 est en cours de réflexion. En recyclant des pièces du linac, les coûts de développement sont limités.

Remerciements à N. Dodd (Elekta) pour son aide.

References

- Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators. Eric E. Klein et al. *Med. Phys.*, **36**, 9, 2009
- A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator. W. Lutz et al. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, 14,373-381, 1988

Mots-Clés: AQ, isocentre, angle rotation statif, collimateur, table, SBRT, MODISOCBCT, fantôme

Utilisation du Profiler® pour le contrôle des profils transversaux et longitudinaux d'un appareil de Tomothérapie®

Frederic Gassa * ¹, Magali Sandt *

, Pascaline Doutre * [†]

¹ Centre Léon Bérard – CRLCC Léon Bérard – Unité de Physique Médicale, service de radiothérapie, 28, rue Laennec 69373 LYON Cedex 08, France

Introduction. Le TG-148 de l'AAPM définit les paramètres machines à contrôler ainsi que leur périodicité. La mesure de constance des profils transversaux des faisceaux délivrés par la machine Tomothérapie doit se faire de façon mensuelle. Or, du fait de la taille du faisceau à mesurer (40cm) et de la géométrie de la machine, cette mesure est compliquée à mettre en œuvre. Cette étude a pour objectif la mise en place d'une méthode rapide et fiable pour ce contrôle qualité.

Méthodes. Le Profiler 2 de Sun Nuclear permet l'acquisition de profils de dose dans 2 directions perpendiculaires simultanément. La mesure est assurée respectivement par 83 diodes dans une direction et 57 diodes dans l'autre, espacées de 4 mm. Le champ exploré est de 30 cm x 20 cm. Deux mesures sont réalisées en décalant le détecteur de 20cm permettant d'obtenir un profil transversal entier du faisceau d'irradiation à contrôler (5cm*40cm). Les données brutes des mesures sont exportées puis intégrées dans un tableau excel. Une macro permet la mise en forme des données et la reconstruction du profil total. On calcule un index gamma entre les mesures du profiler et un profil profiler de référence réalisé tout de suite après des mesures de références dans une cuve à eau. Les critères de ce calcul gamma sont : 2% de la dose à l'axe et 2mm de DTA, le profil de référence étant ré-échantillonné tous les 0,5mm pour ne pas fausser les résultats des calculs gammas. Des analyses de répétabilité et de reproductibilité ont été effectuées afin d'évaluer la robustesse de la méthode. L'introduction d'une erreur de centrage connue dans les deux directions a permis d'en évaluer la précision.

Résultats. Les résultats des mesures attestent d'une très bonne répétabilité : écart moyen sur les 108 points de mesure : 0,05% avec un écart maximal de 0,6% et d'une bonne reproductibilité : 99% des points ont un gamma inférieur à 1% avec un gamma moyen égal à 0,2 +/- 0,02. L'étude pour évaluer la détectabilité des erreurs est en cours.

Conclusions. Le suivi de la constance des profils transversaux du faisceau d'irradiation de la Tomothérapie (sur la fente de 5cm) est réalisé de façon mensuelle avec cette méthode.

*Intervenant

[†]Auteur correspondant: pascaline.doutre@lyon.unicancer.fr

References

QA for helical tomotherapy: report of the AAPM task group 148

Langen et al., *Med. Phys.* vol 37, No9 (2010)

Characterizing a Multi Axis Ion Chamber Array

T Simon et al., Med. Phys. 36, 2582 (2009)

Evaluation of Accuracy of Field Size Measurements Using Profiler 2 and EPID

C Kurokawa et al., Med. Phys. 35, 2889 (2008)

Mots-Clés: Tomotherapy, Profiler, contrôle qualité

Utilisation du cadphan 600® pour le contrôle image MVCT d'un appareil de Tomothérapie®

Frederic Gassa * ¹

¹ Centre Léon Bérard – CRLCC Léon Bérard – Unité de Physique Médicale, service de radiothérapie, 28, rue Laennec 69373 LYON Cedex 08, France

Introduction. La tomothérapie est une technique de radiothérapie conformationnelle avec modulation d'intensité (RCMI) rotationnelle guidée par l'image (IGRT) utilisant un accélérateur linéaire et un scanographe hélicoïdal. Depuis de nombreuses années nous contrôlons la qualité d'image des scanographes KV à l'aide de fantômes type Cadphan. Cette étude teste la possibilité d'utiliser les mêmes outils d'analyse automatisée pour contrôler à minima l'ensemble des paramètres recommandés par le TG 148.

Méthodes. Nous avons tout d'abord fixé les paramètres d'acquisition de l'image MVCT en regardant leur impact sur la qualité de l'image et l'analyse. Après l'acceptance de l'équipement, une acquisition MVCT du Cadphan 600 a été réalisée. Les images ont été exportées et intégrées dans le logiciel Artiscan (Aquilab) servant de référence. Afin de répondre aux recommandations du TG 148, la mire de résolution à haut contraste fourni par Accuray a été au préalable fixée sur le fantôme. Artiscan analyse alors automatiquement l'uniformité, le rapport signal sur bruit, la calibration des Unités Hounsfield, le contraste, la taille du pixel, la distorsion, et le grandissement.

Résultats. Depuis deux ans, le suivi des performances de l'imageur MVCT est réalisé suivant cette méthode. Les paramètres suivis sont analysés par Artiscan. Ils sont enregistrés dans une base de données, ce qui permet d'en assurer la traçabilité. Les graphiques présentés montrent l'évolution des différents paramètres au cours du temps.

Conclusions. L'utilisation du fantôme Cadaphan 600 est une alternative à l'utilisation du fantôme virtuel fourni avec la Tomothérapie. Artiscan permet de déterminer et quantifier l'ensemble des paramètres recommandé par le TG148. Le suivi de la constance des performances de l'imageur MVCT de la Tomothérapie est réalisé de façon mensuelle avec cette méthode.

References

1. QA for helical tomotherapy: report of the AAPM task group 148

Langen et al., Med . Phys. vol 37, N°9 (2010)

*Intervenant

2. Radiothérapie guidée par l'image. Contrôle qualité des équipements à rayons X - Rapport SFPM N°29

Mots-Clés: Tomotherapy, cadphan, qualité image MVCT

Fantôme LEGO® Vs CT4D

Prisca Lamoly ¹, Jean-Yves Gosselin * ², Bruno Foulon ², Edouard Lagneau ², Nicolas Lescut ², Benjamin Schipman ², Alexis Lépinoy ², Aurélien Vasseur ²

¹ Université Clermont Auvergne (UCA) – Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand 2 – 49 bd François Mitterrand, CS 60032 63001 Clermont-Ferrand, France

² Institut de Cancérologie de Bourgogne (ICB) – Institut de Cancérologie de Bourgogne – 12 ter boulevard de Verdun, 89000, Auxerre, France

Introduction. Dans le cadre du programme d'assurance qualité du service, l'implémentation de l'imagerie 4D a nécessité la mise en œuvre d'un nouveau contrôle de qualité. L'idée générale était d'évaluer la restitution de la forme, du volume et de la position d'un objet mobile au travers de l'imagerie CT4D réalisée sur l'appareil AS OPEN DEFINITION (SIEMENS).

Pour cette étude la création d'un objet mobile a été nécessaire. Pour sa faible interaction avec les RX, sa simplicité d'utilisation, et sa multiplicité de solutions, la technologie LEGO® a été retenue.

Méthodes. Le matériel :

- Scanner: SOMATOM Definition AS (Open 20 RT)
- Détecteur de respiration: Système ANZA Í AZ 733 VI
- Fantôme: LEGO® (Brick, Technic et Power Functions)

Méthodes : 6 mouvements (Long., Lat. et 4 hystérésis 2D) ont été programmés et imagés en CT4D (10 phases, MaxIP, MinIP et Average), en coupe d'épaisseur de 1 et 2 mm.

- L'analyse de la forme et du volume de l'objet ont été faites par comparaison de l'analyse de l'imagerie CT de l'objet immobile.
- L'analyse des trajectoires a été réalisée par comparaison du relevé (ppm) des trajectoires et des positions du centre de l'objet déduites des imageries CT4D (10 phases, MaxIP, MinIP et Average).

*Intervenant

Résultats : Les écarts moyens relevés sur les 10 phases sont assez dispersés, en exploration de 1mm comme 2mm, mais de valeurs comparables. La déformation de l'objet, observée dans les différentes phases, traduit ces variations.

Conclusions :

Cette étude nous a permis de postuler sur l'épaisseur de coupe nécessaire et suffisante (2mm) à programmer lors des acquisitions 4D et de valider la synchronisation du signal respiratoire avec la trajectoire bidirectionnelle (longitudinale et latérale) d'un objet mobile. Il faudra encore faire évoluer ce fantôme en implémentant le mouvement antéro-postérieur.

Mots-Clés: CT4D, ANZA'I, SIEMENS

Etude de la reproductibilité du positionnement anatomique en apnée inspiratoire

Pauline Mazars * ¹, Robin Garcia ²

¹ Institut Sainte Catherine – Institut Sainte Catherine, Avignon, France – 250 Chemin de Baigne Pieds, 84918 Avignon Cedex 9, France

² Institut Sainte Catherine – Institut Sainte Catherine, Avignon – 250 Chemin de Baigne-Pieds CS80005 84918 AVIGNON cedex9, France

Introduction. La radiothérapie des tumeurs mobiles est confrontée à un problème majeur posé par les mouvements respiratoires. C'est pourquoi des techniques innovantes se sont développées afin d'asservir la radiothérapie à la respiration du patient. La technique du Blocage respiratoire en Inspiration Profonde (BIP) via un spiromètre et un guide visuel permet de contrôler ces mouvements. L'objectif de cette étude est d'évaluer la reproductibilité du positionnement anatomique en inspiration profonde pour trois localisations : sein, poumon, abdomen à partir d'images acquises pendant le traitement.

Méthodes. Les dossiers analysés concernaient des patients bénéficiant d'un contrôle de la respiration avec le spiromètre SDX/Dyn'R. Les analyses étaient réalisées sur des images acquises avec les imageurs MV et KV pour les modalités planaire et CBCT. *Sein* : Evaluation de distances entre la DRR et l'image portale hebdomadaire pour 15 patientes. Du fait de l'absence de repère osseux fiable dans l'image MV du sein, nous avons utilisé la position du sillon sous-mammaire et du croisement entre deux côtes. *Thorax* : Analyse rétrospective des deux scanners thoraciques réalisés initialement et au 2/3 des séances pour 30 patients. Les mesures ont concerné : le volume pulmonaire, la position du diaphragme, du cœur, de la carène et l'épaisseur du patient aux niveaux thoracique et abdominal. Les images kV quotidiennes ont permis de mesurer la position du diaphragme et du sternum par rapport au rachis (10 patients). *Abdomen* : Evaluation sur les images kV de la position du diaphragme et du sternum pour 15 patients. L'acquisition CBCT a permis d'étudier la reproductibilité, entre deux apnées, du positionnement des tissus mous et notamment le déplacement des reins et des prothèses biliaires (10 patients).

Résultats. La technique BIP pour une tumeur mammaire ne dévoile pas d'importante variation dans le repositionnement du cœur par rapport au gril costal : 3,6mm ($\pm 2,6$ mm) en moyenne perpendiculairement au faisceau tangentiel interne. Concernant le thorax, les plus grands écarts se situent aux niveaux diaphragmatique et abdominal en cranio-caudal, respectivement en moyenne 5,7mm ($\pm 4,0$ mm) et 7,3mm ($\pm 5,9$ mm). Pour la région abdominale (tumeur gastrique, hépatique, pancréatique), les reins et le diaphragme sont soumis aux plus grands écarts : 6,3mm ($\pm 5,6$ mm) et 5,8mm ($\pm 4,0$ mm) en moyenne en tête-pieds.

Conclusion. La méthode du Blocage en Inspiration Profonde offre une immobilisation anatomique. Nous avons étudié la reproductibilité de la position des organes et tissus concernés au cours de plusieurs apnées. Les résultats sont en moyenne infra-centimétriques avec des variations plus prononcées dans la région abdominale affectée par les variations de remplissage digestif. Ces

*Intervenant

évaluations permettent d'établir les marges minimums à prendre en compte pour la réalisation d'un volume PTV.

Mots-Clés: Asservissement respiratoire, spirométrie, reproductibilité anatomique

Influence du bruit statistique et d'un algorithme de réduction de bruit sur l'analyse gamma pour des plans VMAT calculés avec PRIMO

Alain Sottiaux * ¹, Samir Didi , Valérie Baltieri ¹, Anne Monseux ¹, Cédric Leclercq ¹, Didier Vanache , Milan Tomsej ²

¹ CHU de Charleroi – 706 route de Gozée 6110 Montigny le Tilleul, Belgique

² CHU Charleroi (CHU Charleroi) – Charleroi, Belgique

Introduction. Dans le cadre de la vérification de plans VMAT cliniques avec PRIMO, l'analyse gamma est un des principaux indicateurs de la correspondance des distributions de dose. La présence de bruit statistique (inhérent aux calculs par Monte Carlo) influence l'index gamma. L'index gamma est sous-estimé si la dose de référence est bruitée, et surestimé si la dose d'évaluation est bruitée.

Méthodes. Nous avons comparé la dose calculée par PRIMO 0.3.1 (DPM) avec celle calculée par Eclipse (Acuros 13.7, dose dans le milieu). Les dernières versions beta de PRIMO incluent un mode " macro ". Il permet à partir d'un fichier de commande simple de démarrer facilement des simulations, en choisissant des paramètres de calculs, en particulier le nombre d'histoires simulées, le paramètre de réduction de variance (splitting) et les paramètres pour la conversion en dose absolue. Ce mode macro permet aussi de calculer l'index gamma entre 2 distributions de dose, y compris en activant le filtre de réduction IRON intégré à PRIMO.

Nous avons calculé l'index gamma (pour 1 cas clinique) pour 3 situations : Acuros comme référence, PRIMO comme référence, avec et sans filtre de réduction de bruit activé. Nous avons fait varier le bruit statistique en modifiant le nombre d'histoire simulées (entre 0.5×10^9 et 9×10^9), et le splitting (entre 200 et 400). Nous avons calculé l'index gamma pour 3%/3mm, 2%/2mm et 1%/2mm.

Résultats. L'incertitude statistique varie entre 8.4% et 1.7%. L'index gamma est systématiquement plus élevé en choisissant Acuros comme référence. L'application du filtre de réduction de bruit améliore systématiquement l'index gamma de manière significative.

Parmi les 3 manières de réduire le bruit (et donc de minimiser son influence sur l'index gamma), la plus économique en temps est le filtre de réduction de bruit, puis l'augmentation du splitting (avec une saturation pour un facteur de quelques centaines), et enfin l'augmentation du nombre d'histoires simulées. L'application du filtre de réduction de bruit a le même effet sur l'index gamma qu'une augmentation d'un facteur 5 à 10 du nombre d'histoires simulées.

*Intervenant

Conclusions. Pour comparer une dose calculée par PRIMO et Acuros, le filtre de réduction de bruit intégré à PRIMO (IRON) est un outil efficace pour minimiser l'influence du bruit statistique sur le calcul de l'index gamma.

Une analyse fine des données, ainsi qu'une généralisation à d'autres cas cliniques, permettra de définir la meilleure répartition entre splitting et nombre d'histoires simulées pour réduire le bruit statistique de manière la plus efficace.

Mots-Clés: VMAT, PRIMO, Monte Carlo, gamma

Evaluation de la matrice de vérification OnLine des paramètres d'irradiation de ScandiDos : Le Discover

Tiphaine Vandermaesen ^{*† 1}, Mathieu Gonod ^{*}

¹, Leone Aubignac ¹

¹ Centre Georges-François Leclerc, Dijon (CGFL) – CRLCC Georges-François Leclerc – 1, rue du Pr
Marion 21079 Dijon Cedex, France

Introduction. Dans le cadre d'une évaluation approfondie, le système Discover a été testé 14 semaines. Cet outil de contrôle radio transparent composé d'une matrice de diodes est fixé sur la tête de l'accélérateur et a pour but de vérifier les paramètres mécaniques et dosimétriques lors de la délivrance des traitements.

Méthodes. Le Discover a fait l'objet d'une évaluation technique, aucune utilisation clinique n'a été réalisée. Il a été installé sur un TrueBeam (V2.5 VARIAN) pour un faisceau de qualité 6 MV (TPR20/10 = 0,6664). Les planifications ont été réalisées sur Eclipse (VARIAN) avec les algorithmes PRO3 et AAA V11. Le logiciel Portal Dosimetry (V11 VARIAN) et le fantôme Delta4 (ScandiDos) ont servi à l'évaluation du système.

La première étape a été de mesurer l'influence du Discover sur le faisceau. Les variations de l'indice de qualité, du rendement en profondeur, du profil et de l'atténuation axiale et planaire ont été évaluées.

La seconde étape a reposé sur la caractérisation des détecteurs en termes de répétabilité et de reproductibilité de champs simples et complexes. La linéarité de réponse en dose et en débit ont également été évaluées.

La troisième étape a été d'étudier la détectabilité du Discover. Des erreurs dosimétriques et mécaniques (dose, position MLC, angulation collimateur ou bras, ...) ont été injectées dans les plans de traitements afin de quantifier les écarts.

Résultats. L'atténuation par le Discover est en moyenne de 1,2 % pour notre faisceau. Des variations planaires liées à la composition du système ont cependant été révélées allant de 0,8 % à 1,5 %.

La répétabilité des mesures pour les champs VMAT et RCMI est conforme à celle annoncée. A titre d'exemple, pour les champs RCMI elle est inférieure à 0,01 Gy pour 2 Gy prescrits et inférieure à 0,1 mm. En termes de reproductibilité, les résultats sont inférieurs à 0,08 Gy en dose

*Intervenant

†Auteur correspondant: tvandermaesen@cgfl.fr

pour 2 Gy prescrit et 0,1 mm pour les champs RCMI.

L'évaluation de la détectabilité du système est en cours et les premiers résultats montrent une déviation moyenne de positionnement des lames sur un champ fixe de $(0,2 \pm 0,1)$ mm.

Conclusions. Le système Discover est un outil robuste. Il permet de détecter des écarts de position de lames inférieurs au mm et des écarts en dose inférieur à 1% de la prescription. Son implémentation permet de s'assurer de la bonne délivrance du faisceau et permet d'envisager de nouveaux workflow de contrôle qualité.

L'augmentation de la zone de détection du Discover permettrait de vérifier la totalité des champs de traitement et de mettre en place des CQ machines rapides et reproductibles. Des contrôles quotidiens de symétrie, homogénéité, taille de champ et de valeur d'étalonnage de faisceau ont d'ailleurs été mis en place sur notre accélérateur.

Mots-Clés: Discover, ScandiDos, matrice, détecteurs, Dijon, Vandemaesen, Gonod, contrôle, qualité

Validation des images de positionnement du patient en radiothérapie externe. Bilan de la mise en oeuvre d'une nouvelle méthodologie incluant des audits internes.

Stephane Estivalet * 1

¹ centre jean bernard (ILC) – Ministère de la santé – 9 rue beauverger 72000 le Mans, France

Introduction.

En radiothérapie externe, le médecin onco-radiothérapeute valide a minima les images de positionnement et les faisceaux de traitement du patient avant la première séance. Dans notre centre, les médecins validaient toutes les images réalisées, celles lors de la " mise en place " et celles en cours de traitement. La procédure a été revue en 2016. En particulier, elle inclut la réalisation d'audits annuels, par localisation. Un bilan de cette nouvelle procédure est présenté.

Méthodes.

Les objectifs visés ont été clairement définis : conserver la validation médicale des images avant toute nouvelle étape de traitement ; mieux hiérarchiser les images à valider par les médecins ; diminuer le nombre d'images à valider par les médecins (meilleure attention et gain de temps médicaux attendus) ; évaluer régulièrement la qualité du repositionnement pratiqué dans le service.

La formation de l'ensemble de l'équipe de manipulateurs au repositionnement était un indispensable, préalablement rempli.

Grâce à un agenda électronique, les validations médicales du jour sont listées. En plus des mises en place, une validation des images par un médecin est réalisée une fois en cours de traitement, environ à la moitié de chaque temps de traitement. L'intérêt est de pouvoir apprécier la qualité du repositionnement sur un ensemble de séances.

En complément s'organise un audit annuel pour les grandes localisations de traitement curatif : orl, sein, pelvis, thorax. L'équipe d'auditeurs est composée d'un(e) médecin, deux manipulateurs(trices), un(e) physicien(ne).

Résultats.

La mise en oeuvre a débuté en juin 2016. Les images de mise en place et des faisceaux sont correctement validées avant la première délivrance de traitement. Le nombre de dossiers d'images à valider a été diminué de 80 à 20 par jour en moyenne. Les mises en place sont mieux identifiées

*Intervenant

et le contrôle en cours de traitement jugé utile. Les manipulateurs sont plus autonomes pour le positionnement ; les seuils de déclenchement d'une nécessaire expertise médicale en cas de difficulté de placement sont bien définis.

Les audits par localisation ont permis des échanges pluridisciplinaires appréciés par les équipes. Ils ont dégagé des axes de travail, comme la recherche de meilleurs consensus sur les critères de bon recalage. Les groupes auditeurs ont tous émis des idées pour améliorer le positionnement, qui ont débouché sur des études.

Conclusions.

La nouvelle méthodologie est comprise, respectée et donc confirmée.

Les audits internes sur le repositionnement sont bénéfiques et seront reconduits avec une fréquence annuelle.

Mots-Clés: repositionnement, validation

RT - Planification

Evaluation de l'utilisation de l'algorithme de correction des artefacts métalliques Smart MAR (Metal Artifact Reduction) pour l'imagerie de planification en radiothérapie externe

Armelle Arnoul Jarriault ^{*† 1}, Christel Lanaspeze^{‡ 1}

¹ Institut Claudius Regaud-Institut Universitaire du Cancer de Toulouse- Oncopole (ICR - IUCT-O) – CRLCC Institut Claudius Regaud – avenue Irène Joliot Curie, 31059 Toulouse Cedex 9, France

Introduction.

Les artefacts dus à la présence d'implants métalliques (prothèses vertébrales, prothèses de hanches,...) sur les acquisitions tomодensitométriques (TDM) dégradent la qualité de l'image et engendrent des erreurs sur les valeurs des Unités Hounsfield (UH) des tissus environnants. Ils peuvent réduire la précision des contours et du calcul de dose. Actuellement, ces artefacts sont corrigés de façon manuelle en les délinéant et en leur affectant une densité correcte. Le but de cette étude est donc d'évaluer la capacité de l'algorithme de correction des artefacts métalliques MAR1 (GE Healthcare) à restaurer les valeurs UH afin de pouvoir limiter cette correction longue et opérateur dépendante.

Méthodes.

Le fantôme de densité CIRS (Model 062) contenant dix différents types d'inserts a été utilisé pour réaliser notre évaluation. Le fantôme a été acquis avec le TDM Optima 580 (GE Healthcare) (120 kV, mAs auto) en l'absence de métal (image de référence) puis en présence d'une prothèse en titane (4,2 g.cm-3) puis en acier (8 g.cm-3). Les trois acquisitions ont été reconstruites avec et sans application de l'algorithme. Les valeurs d'UH et les écarts type associés au sein des différents inserts en présence des prothèses métalliques avec et sans correction ont été relevées et comparées à l'image de référence.

Résultats.

En l'absence de la reconstruction MAR, les artefacts engendrent des erreurs sur les valeurs UH des inserts à proximité des implants métalliques jusqu'à 20% pour la prothèse en titane et 50% pour la prothèse en acier. Dans notre configuration, l'application de l'algorithme MAR permet de réduire les erreurs sur les valeurs UH de façon significative (moins de 2%). Cependant, des artefacts métalliques résiduels sont encore observés dans les images corrigées par l'algorithme

*Intervenant

†Auteur correspondant: ArnoulJarriault.Armelle@iuct-oncopole.fr

‡Auteur correspondant: Lanaspeze.Christel@iuct-oncopole.fr

Conclusions.

Nos différents résultats montrent que l'utilisation de l'algorithme de correction peut être un outil pour l'amélioration de la prise en charge des patients porteurs d'implants métalliques. Ces résultats seront complétés par une étude dosimétrique comparative avec différents type de balistiques.

References

1. Healthcare GE. Smart metal artifact reduction (MAR) (2013)

Mots-Clés: implants métalliques, algorithme de correction des artefacts métalliques, MAR, Unités Hounsfield

Traitement du sein par VMAT au CHU de La Réunion

Céline Corbice ¹, Perrine Bertrand * ², Emmanuelle Fontaine ¹, Germain Renaud ¹, Johan Encaoua ¹, Eric Delattre

¹ CHU de la Réunion – CHR La réunion – Site du GHSR. BP 350. 97448 Saint-Pierre. Ile de la Réunion, France

² CHU de La Réunion – CHU de la Réunion, Site GHSR BP 350 - 97448 Saint-Pierre, Réunion

Introduction :

Au CHU de La Réunion, le traitement des cancers du sein est effectué par radiothérapie conformationnelle mono-isocentrique (Field in Field). Depuis Septembre 2017, les irradiations du sein et des aires ganglionnaires complexes sont réalisées par VMAT (RapidArc).

Méthodes :

15 patientes ont bénéficié de ce traitement sur les 2 accélérateurs miroirs Clinac Varian 2100C/D IGRT avec MLC 120 lames depuis septembre 2017. La planification a été effectuée avec le TPS Eclipse 13.6 Varian (Anisotropic Analytical Algorithm – AAA) pour une prescription de dose de 50 Gy en 25 fractions commune aux volumes, sein ou paroi thoracique, aires ganglionnaires et à la chaîne mammaire interne. Le scanner de dosimétrie a été réalisé avec une contention personnalisée (Molcare - SEEmed). Les volumes cibles ont été définis selon les critères du Radiation Therapy Group (RTOG 1005). La planification par 2 ou 3 arcs partiels a été optimisée via la technique du bolus virtuel avec des champs asymétriques et des angles de collimateur adaptés pour épouser la paroi costale.

Les volumes cibles anatomocliniques (CTV) doivent recevoir 95% de la dose prescrite pour 99% du volume sein ou paroi et 95% du volume ganglionnaire. Les volumes cibles prévisionnels (PTV) correspondent aux volumes cibles anatomocliniques avec une marge de 7mm redimensionné à la peau.

Un contrôle qualité pré-traitement par dosimétrie portale (PDIP Varian) a été effectué systématiquement.

La validation du positionnement est effectuée par la comparaison du contour externe via le recalage CBCT osseux quotidien sur le gril costal.

Résultats :

Pour les 15 patientes, le bilan des couvertures de dose des volumes cibles (CTV et PTV) ainsi que le recueil des doses reçues aux organes à risques ont été effectués.

*Intervenant

Le volume cible anatomoclinique recevant 95% de la dose prescrite du sein ou de la paroi est de $98.8\% \pm 1.0$, celui des ganglions de $100\% \pm 0$. Le volume cible prévisionnel recevant 95% de la dose prescrite du sein ou de la paroi est de $92.8\% \pm 3.5$, celui des ganglions de $93.7\% \pm 3.7$.

Pour le poumon homolatéral, la dose moyenne est de $12.7\text{Gy} \pm 1.7$, la dose reçue par le volume 80% (V80%) est de $4.2\text{Gy} \pm 1.2$, la V20% est de $16.9\text{Gy} \pm 4.4$ et la V10% est de $27.3\text{Gy} \pm 5.7$. Pour le cœur, la dose moyenne est $6.1\text{Gy} \pm 1.5$. Pour le sein controlatéral, la dose moyenne est de $4.7\text{Gy} \pm 0.7$. Pour le poumon controlatéral, la dose moyenne est de $5.8\text{Gy} \pm 2.5$.

La dose maximale des plans est de $116.8\% \pm 2.6$.

Le résultat du gamma index pour le contrôle qualité pré-traitement est de $99.2\% \pm 0.6$ (critère de DTA=3mm, $\Delta D=3\%$, tolérance de 97%).

Conclusions :

L'irradiation VMAT pour le sein augmente les faibles doses dans les volumes homolatéraux et controlatéraux. Cela-dit, le gain majeur de la couverture des volumes cibles en fait la technique de choix pour les patientes pour lesquelles aucun compromis ne doit être fait, avec une exposition des organes à risques acceptable.

Mots-Clés: Sein, paroi, VMAT, Radiothérapie

Comparaison dosimétrique de 3 TPS utilisés pour la planification de traitements avec modulation d'intensité rotationnelle du sein et des aires ganglionnaires

Emilie Costa * ¹, Laurent Bartolucci ², Magalie Robilliard ², Sandra Caneva-Losa ², Alejandro Mazal ²

¹ Institut Curie – Institut Curie – 26 rue d'Ulm 75000 Paris, France

² Institut Curie – Institut Curie – 26 rue d'Ulm 75005 Paris, France

Introduction. La radiothérapie avec modulation d'intensité permet de réduire significativement la toxicité aux organes à risques (OAR) dans le traitement du cancer du sein tout en autorisant une couverture satisfaisante des volumes cibles (PTV). Le but de cette étude est de réaliser une comparaison dosimétrique de 3 TPS pour la planification de traitement avec modulation d'intensité rotationnelle du sein et des aires ganglionnaires sus et sousclaviculaire (IV,III,II) et de la chaîne mammaire interne (CMI), afin d'en étudier l'impact sur la qualité des dosimétries. *Méthodes.* Nous avons sélectionné 10 patientes traitées pour un cancer du sein avec irradiation des aires ganglionnaires (5 seins gauches et 5 seins droits). Les doses prescrites, délivrées en 28 fractions, sont de 50,4 Gy dans l'ensemble du sein et des aires ganglionnaires et de 63 Gy dans le lit tumoral en boost intégré. Les plans de traitements ont été générés avec les 3 TPS suivants : Eclipse 13.6 avec l'algorithme d'optimisation inverse Photon Optimizer (Varian Medical Systems), RayStation 6.1.1.2 (RaySearch Laboratories AB) et TomoTherapy Planning Station (PS) avec VoLO et TomoEdge (Accuray Inc). Les plans Eclipse et RayStation ont été réalisés en arcthérapie volumétrique modulée avec 4 arcs partiels de 230° d'amplitude chacun, tandis que les plans TomoTherapy ont été réalisés avec les mâchoires dynamiques, un collimateur de 5 cm et un modulation factor de 3.5. Tous les plans ont été exportés vers Artiview (Aquilab) afin de calculer pour chaque PTV l'indice d'homogénéité ($HI=D2-D98/D50$), l'indice de conformité CN (Riet, 1997), le volume couvert par l'isodose 95% de la dose prescrite et la dose maximum (D2%). Pour chaque plan, le volume de faible dose (V5Gy), les doses moyennes au cœur, poumon homolatéral, poumon et sein contralatéraux ont été relevées.

Résultats. Les résultats préliminaires concernent 5 patientes (3 seins gauches et 2 seins droits) et sont résumés dans le tableau 1. Tous les plans de traitement réalisés respectent les critères de couverture des volumes cibles ($V95\% > 95\%$ pour chaque PTV) ainsi que les contraintes médicales aux OAR définies dans le service et basées sur notre expérience clinique. Dans les régions ganglionnaires et au niveau du sein même à distance du lit tumoral, certains plans présentent des D2% supérieures à 107% de la dose prescrite et cela pour les 3 TPS.

Conclusion. Cette étude préliminaire montre que les 3 TPS testés sont performants pour la planification de traitements avec modulations d'intensité rotationnelle du sein et des aires gan-

*Intervenant

glionnaires. La suite de ce travail consistera à inclure un plus grand nombre de patientes afin de mener une analyse statistique plus approfondie.

Analyse de pratiques des planifications dosimétriques des patients Cyberknife M6 à l'Institut de Cancérologie de Lorraine

Florent Courrech * ¹, Florian Baumard ², Julia Salleron ², Lucie Guinement , Fleur Saunier ¹, Karine Herlevin Gerard , Isabelle Buchheit ³, Vincent Marchesi ³

¹ Medical Physics Unit, Institut de Cancérologie de Lorraine – Institut de Cancérologie de Lorraine - Alexis Vautrin – 6, Avenue de Bourgogne - 54519 VANDOEUVRE-LES-NANCY Cedex, France

² Biostatistics and Data Management Unit, Institut de Cancérologie de Lorraine – Institut de Cancérologie de Lorraine - Alexis Vautrin – 6 Avenue de Bourgogne, 54000 Vandoeuvre les Nancy, France

³ Medical Physics Unit, Institut de Cancérologie de Lorraine – Institut de Cancérologie de Lorraine - Alexis Vautrin – 6, Avenue de Bourgogne - 54519 VANDOEUVRE-LES-NANCY Cedex, France

Introduction. Dans la démarche d'assurance de qualité liée à la mise en route d'un Cyberknife M6, une analyse de pratique a été réalisée afin d'évaluer si des différences entre opérateurs existaient dans la réalisation des plans de traitement pouvant impacter le traitement du patient, notamment suite à la formation récente d'un nouvel opérateur.

Méthodes. Cette étude a porté sur les plans de traitement réalisés sur le TPS Precision 1.1 (Accuray) entre septembre 2017 (mise en route du Cyberknife M6) et mars 2018. Le recueil et la mise en forme des données de l'étude a été automatisé sous macro Excel à partir de l'export du fichier "Plan Overview" généré par le TPS Precision contenant les informations techniques et dosimétriques (HDV) du plan.

L'analyse a porté sur des indices dosimétrique (couverture des PTV, indice de conformité (Vol de l'isodose de référence/Vol du PTV), indice de Gradient (Vol de l'isodose 50%/Vol de l'isodose de référence)) et des indices d'efficacité de délivrance du traitement (nombre de faisceaux, UM par séance et durée estimée de la séance).

Les paramètres numériques ont été comparés par une analyse de la variance ou par un test du Kruskal-Wallis en fonction de la normalité de la distribution (étudiée par un test de Kolmogorov-Smirnov). Les paramètres qualitatifs ont été comparés par un test du Chi-deux ou du Fisher Exact. Le niveau de significativité a été fixé à 5%.

Résultats. 226 plans de traitement ont été réalisés par 6 physiciens (physiciens médicaux uniquement) avec une expérience allant de moins d'un an à 11 ans. 40% de plans de traitement étaient intracrâniens. La proportion des plans de traitement intracrânien / extra crânien, la taille des volumes ainsi que la multiplicité des volumes étaient comparables entre les 6 physiciens. Aucune différence significative entre les physiciens n'a été retrouvée sur la couverture des PTV (p=0.108) ou l'indice de Gradient (p=0.219).

*Intervenant

Des différences significatives apparaissent sur les UM ($p=0.008$), le nombre de faisceaux ($p=0.001$) et les temps de traitement ($p=0.020$). Ces 3 paramètres sont liés aux opérations de réduction de faisceaux, de temps ou d'UM au cours de la dernière étape de l'optimisation d'un plan de traitement. Aucun critère sur ces 3 paramètres ou sur les réductions n'ont été défini, a priori, au sein de l'équipe, et reste l'appréciation du physicien.

Conclusions. L'évaluation statistique des plans de traitement réalisés au cours des six premiers mois suite à la mise en route du Cyberknife M6 a permis d'objectiver l'homogénéité des résultats dosimétriques obtenus par les différents physiciens malgré des pratiques d'optimisation différentes. L'analyse statistique montre également que la physicienne médicale récemment intégrée a des résultats comparables aux autres physiciens sur l'ensemble des indicateurs évalués. Cela valide sa formation, par compagnonnage, pour la réalisation des dosimétries Cyberknife.

Mots-Clés: Cyberknife M6, Dosimétrie, planification de traitement

Modification de la prise en charge des traitements SBRT des tumeurs pulmonaires périphériques sur Linac par arcthérapie : plus précis, plus rapide et sûr

Julien Darréon *¹, Pierre Annede, Pierre Fau, Agnès Tallet, Naji Salem

¹ Institut Paoli Calmettes – Fédération nationale des Centres de lutte contre le Cancer (FNCLCC) – 232, boulevard Ste Marguerite 13009 Marseille, France

Introduction. Historiquement développés sur des accélérateurs avec collimateurs additionnels, les traitements stéréotaxiques (SBRT) sont maintenant réalisés sur des accélérateurs dédiés (CyberKnife, TrueBeam STX, Versa HD) avec des équipements dédiés (imagerie de positionnement, contrôle de la respiration, contentions) et des faisceaux non filtrés (FFF). D’abord réalisés en technique conformationnelle (3D-CRT), les traitements sont de plus en plus effectués en technique rotationnelle par modulation d’intensité (VMAT) (Guckenberger, 2017).

Méthodes. Cette étude prospective a été réalisée sur 30 patients ayant une tumeur pulmonaire périphérique traitée par SBRT. L’objectif était d’évaluer, par l’intermédiaire de métriques (CN, CI, HI, DminPTV, et volumes des isodoses 5Gy, 10Gy, D50% et Dpresc. (Vieilleigne, 2016)) la possibilité d’améliorer la distribution de dose et de diminuer le temps de traitement en réalisant les SBRT en VMAT et non en 3D-CRT. La planification a été effectuée grâce au TPS RayStation v6.

Le schéma de radiothérapie était de 48Gy en 6 fractions et le volume moyen des PTV de $18,3 \pm 11,8$ cc. Pour chaque patient, l’ITV a été déterminé et le PTV réalisé en appliquant des marges de 5mm en cranio-caudal et 3mm par ailleurs. 2 plans ont été réalisés en 6MV-FFF, un 3D-CRT et l’autre en VMAT avec limitation du mouvement des lames et modulation du débit de dose. L’optimisation des plans de traitement a été réalisée de manière à ce que 99% du volume PTV soit couvert par l’isodose de prescription avec pour le 3D-CRT une limite d’ouverture du collimateur de 5 mm et une limite de prescription au point isocentre de 80%. Les métriques des 30 patients ont été relevées et comparées par un test de Wilcoxon. Le temps de délivrance du traitement a été mesuré pour la technique 3D-CRT et une estimé par le TPS pour le VMAT.

Résultats. Les résultats sont présentées table 1 et figure 1. Pour la quasi-totalité des patients, la couverture de 99% du volume PTV a été respectée à 48Gy. Notre technique permet d’obtenir significativement un meilleur nombre de conformité et des volumes d’isodose 10Gy, D50% et Dpresc. plus faibles ($p < 0,001$). La durée des séances a été réduite de 150 à 47sec.

Conclusions. La limitation du mouvement des lames et l’utilisation de VMAT partiels avec une fluence photonique uniforme et une modulation du débit de dose permettent une couverture plus conforme et une moindre irradiation pulmonaire. Cette technique est maintenant réalisée

*Intervenant

en routine.

References

1. Guckenberger, M. *et al.* ESTRO ACROP consensus guideline on implementation and practice of stereotactic body radiotherapy for peripherally located early stage non-small cell lung cancer. *Radiat. and Oncol.* **124**, 11–17 (2017).
2. Vieillevigne, L. *et al.* Dosimetric comparison of flattened and unflattened beams for stereotactic body radiation therapy: Impact of the size of the PTV on DCA and VMAT. *Physica Medica* **32**, 1405–1414 (2016).

Mots-Clés: RayStation, Arcthérapie, Conformal Number, Lung SBRT

Etude dosimétrique de l'influence de la table de traitement en arcthérapie

Elli Dimitriadi *¹, Pierre-Emmanuel Leni¹, Régine Gschwind¹, Céline Groperrin², Aurélien Vasseur³

¹ Laboratoire Chrono-Environnement – CNRS – 4 place Tharradin, 25211 Montbéliard cedex, France

² Service de radiothérapie – Hôpital Nord Franche-Comté [Hôpital de Trévenans] – 1 rue Henri Becquerel, 25209 Montbéliard cedex, France

³ Service de radiothérapie du parc (ICB) – ICB – 12 ter boulevard Verdun, 89000 Auxerre, France

Introduction. Au cours de ces dernières années, les algorithmes de calcul de dose absorbée dans les systèmes de planification de traitement (TPS) ont évolué. Une haute précision de la dose absorbée délivrée par rapport à la dose calculée est demandée, en limitant les incertitudes entre la dose délivrée et la dose prescrite à 5% selon les recommandations de l'ICRU1. Un des paramètres qui contribue à augmenter ces incertitudes, est la table de traitement qui atténue le faisceau de 2% à 15% quand il passe au travers2. Les tables de dernière génération composées de carbone, ont tendance à agir comme un bolus, et à augmenter la dose à la surface tout en diminuant la dose en profondeur2. Par conséquent, la prise en compte de la table par le TPS est primordiale pour éviter un mauvais contrôle tumoral, un surdosage des organes à risque2 et des effets de radiotoxicité à la peau2.

Méthodes. La technique de référence pour le calcul des distributions de dose est basée sur la méthode Monte-Carlo (MC)3. Parmi les codes les plus connus, BEAMnrc/EGSnrc permet la modélisation géométrique de l'accélérateur, et l'utilisation d'images CT (format DICOM) afin de simuler la distribution de dose dans des fantômes voxelisés. Pour cela, les données CT doivent être converties en densités et matériaux correspondants, en prenant en compte la table. Une mauvaise attribution des matériaux4 peut entraîner des biais dans la distribution de dose calculée par MC. Pour cette conversion, un logiciel développé par l'équipe utilisant une rampe de conversion des Unités Hounsfield (UH) en densité et matériaux sera utilisé.

Résultats. Plusieurs méthodes de prise en compte de la table de traitement dans différentes localisations en technique d'arcthérapie (VMAT) seront étudiées. Les distributions de dose seront analysées et comparées aux calculs TPS.

Conclusions. Les résultats issus de cette étude ont permis d'évaluer par MC différentes méthodes de prise en compte de la table de traitement.

References

1. ICRU. Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of x or gamma rays in radiotherapy procedures, Report 24. Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements 13, (Oxford University Press, 1976).
2. Olch, A. J., Gerig, L., Li, H., Mihaylov, I. & Morgan, A. Dosimetric effects caused by couch

*Intervenant

- tops and immobilization devices: Report of AAPM Task Group 176. *Med. Phys.* 41, 1–30 (2014).
3. Mohan, R., Antolak, J. & Hendee, W. R. Monte Carlo techniques should replace analytical methods for estimating dose distributions in radiotherapy treatment planning. *Med. Phys.* 28, 123–126 (2001).
 4. Verhaegen, F. & Devic, S. Sensitivity study for CT image use in Monte Carlo treatment planning. *Phys. Med. Biol.* 50, 937–946 (2005).

Mots-Clés: Monte, Carlo, table de traitement, arcthérapie

Treating breast cancer with VMAT in deep inspiration breath hold: the Geneva experience

Angèle Dubouloz ^{*† 1}, Philippe Nouet ¹, Nikolaos Koutsouvelis ¹, Giovanna Dipasquale ¹, Maud Jaccard ¹, Odile Fargier-Bochaton ¹, Michel Rouzaud ¹

¹ Hopitaux Universitaires de Genève (HUG) – Rue Gabrielle Perret-Gentil, CH - 1211 Genève 14 - Suisse, Suisse

Introduction. We report on the treatment management and the dosimetric results of deep inspiration breath hold (DIBH) volumetric modulated arc therapy (VMAT) treatments for breast cancer patients.

Methods. A total of sixty-four patients with breast cancer benefited from DIBH VMAT treatments since the implementation of this technique in our department in October 2016. The simulation CT (CTsim) room is equipped with the Real-time Position Management™ (RPM 1.7) Respiratory Gating (Varian) and the treatments are delivered on either a TrueBeam with Respiratory Gating or a Varian Linac with RPM. DIBH coaching is performed by the RTTs the day of CTsim. CTsim is acquired when the patient is able to maintain a reproducible and stable DIBH for at least 20 seconds. The "reference" breathing curve acquired at CTsim is saved, and personalized gating thresholds are defined for treatment delivery. The treatment is delivered using a 6 MV beam with 2 partial arcs (200°) and 2 "tangential-like" arcs (50°). For dosimetric analysis, patients were divided into 9 groups depending on the anatomical regions (breast and lymph nodes) included in the planning target volume (PTV), the breast laterality (50 left, 10 right and 4 double-sided irradiations) and the presence of a simultaneous integrated boost (SIB). The total dose was renormalized at the same value (50 Gy) for each group (4 different dose prescriptions and fractionations are used in Geneva).

Results. Patient setup is controlled with DIBH kV/kV and CBCT images. The RTTs need to continuously coach the patient as he cannot visualize its DIBH level during the session. Using DIBH technique requires additional time compared to a free breathing treatment (35 vs. 20min per fraction). As for dosimetry, in all groups, more than 95% of the PTV received at least 95% of the prescribed dose. The dose received by 2% of the PTV did not exceed 107.3% for groups without SIB, and 111.4% for groups with SIB. Mean dose (Dmean) to the heart was 5 Gy for groups without internal mammary chain (IMC) irradiation, 6 Gy with IMC, and reached 8 Gy for double-sided breast and whole left breast with SIB irradiations. Dmean of the contralateral breast did not exceed 2.8 Gy for groups without IMC, and 3.8 Gy for groups with IMC. As for the contralateral lung: Dmean was 3 Gy and 5 Gy, V5Gy was 20% and 40%, for groups without and with IMC respectively. For the homolateral lung, Dmean was below 9.5 Gy for breast alone groups (+/- SIB) and 13.9 Gy for IMC+SIB groups, V5Gy was below 50% for breast alone groups, below 56.1 % for SIB groups, and below 78.7% for IMC+SIB groups.

Conclusions. Radiotherapy treatment of breast cancer using DIBH and a VMAT technique is

*Intervenant

†Auteur correspondant: angele.dubouloz@hcuge.ch

more and more used in our center because of the excellent achievable OAR dose sparing and the good reproducibility of patient positioning. The additional time resource needed for this treatment modality is compensated by the gain in treatment quality.

Mots-Clés: DIBH, VMAT, RPM, gating

Mise en place de la trimodalité appliquée à la radiothérapie

David Gensanne *^{1,2}, Pierrick Gouel³, Pierre Decaze³, Agathe Edet-Sanson³, Françoise Callonnec², Françoise Douvrin², Ahmed Benyoucef¹, Bernard Dubray¹, Isabelle Gardin^{3,4}, Pierre Vera^{3,4}

¹ Département de Radiothérapie et de Physique Médicale – Centre de Lutte Contre le Cancer Henri Becquerel Normandie Rouen – 1, rue d’Amiens 76000 ROUEN, France

² Département d’Imagerie Médicale – Centre de Lutte Contre le Cancer Henri Becquerel Normandie Rouen – 1, rue d’Amiens 76000 ROUEN, France

³ Département de Médecine Nucléaire – Centre de Lutte Contre le Cancer Henri Becquerel Normandie Rouen – 1, rue d’Amiens 76000 ROUEN, France

⁴ Laboratoire QuantIF - LITIS (EA 4108) – EA 4108 – Rouen, France

Introduction. Les imageries PET et IRM sont aujourd’hui incontournables en radio-oncologie pour la définition des volumes cibles et des organes à risques. Sur le plan pratique, les images acquises suivant ces deux modalités sont recalées sur le scanner de simulation puis utilisées pour la délimitation des contours dosimétriques. L’acquisition de ces images en position de traitement permet de limiter les erreurs de recalage et de fait améliore la précision dans la définition des volumes. Cette précision peut être toutefois augmentée si l’ensemble des examens est réalisé à la suite, sans modifier la mise en place du patient. L’équipement utilisé pour parvenir à ce nouveau paradigme ainsi que les premiers résultats obtenus sur la localisation pelvienne sont présentés.

Méthodes. Ce travail est réalisé sur un PET/CT Discovery GE710 et une IRM Optima MR450w (General Electric®). Les deux salles d’examens sont équipées de lasers de centrage et de plateaux de table rigides. Le transfert du patient d’une modalité à l’autre est réalisé au moyen d’un plan rigide Zephyr XL (Diacor®). Ce dispositif sur coussin d’air, compatible multimodalité, permet de déplacer le patient en le maintenant en position de traitement.

Les images acquises sont recalées au moyen du module ” Alignement intégré ” du logiciel AW Server 3.2 (General Electric®). Les paramètres de déplacement sont calculés à partir de la matrice de transformation rigide issue du recalage.

Les données obtenues pour 6 patients ayant bénéficié de cette technique de transfert sont comparées aux valeurs de recalage mesurées sur les images de 10 patients repositionnés à chaque examen à l’aide de repères à la peau et des lasers de centrage.

Résultats. Les données de tangage et de roulis obtenues avec le système de transfert Zephyr XL (Diacor®) ont pour valeurs médianes $0.06^\circ \pm 0.33$ et $0.11^\circ \pm 0.45$, respectivement. Dans le cas du repositionnement du patient à chaque examen, les valeurs médianes obtenues pour le tangage et le roulis sont de $0.34^\circ \pm 1.75$ et $-0.23^\circ \pm 1$, respectivement.

Conclusion. L’analyse des résultats montre que l’utilisation du système de transfert Zephyr

*Intervenant

XL réduit significativement les incertitudes de positionnement du patient. Dans le cadre du développement de la trimodalité à visée de radiothérapie, ces premières données sont plutôt encourageantes. Une étude plus approfondie, basée sur une plus grande cohorte de patients et pour d'autres localisations, doit toutefois être menée pour confirmer cette tendance.

Mots-Clés: Trimodalité, Radiothérapie

VMAT vs. RTC3D : évaluation dosimétrique quantitative pour les localisations pulmonaires

Yann Lauzin ^{*† 1}, Ahmed Hadj Henni ¹, Brian Dubos ¹, Sébastien Thureau ¹, Nicolas Pirault ¹, Perrine Clarisse ¹, Simona Linca ¹, David Gensanne ¹

¹ CRLCC Henri Becquerel – Centre de Lutte Contre le Cancer Henri Becquerel Normandie Rouen – 1 rue d’Amiens, France

Introduction. L’apport dosimétrique de la VMAT dans les localisations pulmonaires par rapport à la RTC3D est connu et confirmé par de nombreuses publications. Le but de cette étude est de quantifier plus précisément ces résultats dans notre contexte clinique. Pour cela, l’étude a porté sur trente-six patients traités en RTC3D entre 2015 et 2017.

Méthodes. Pour chaque patient traité en RTC3D pour un cancer bronchique non à petites cellules avec une dose prescrite de 66Gy en 33 fractions, un deuxième plan de traitement VMAT a été calculé avec le système de planification de traitement Eclipse 13.6 (AAA 13.6.23, PRO 13.6.23, Varian®). Ce dernier est réalisé en utilisant, soit deux arcs complets, soit deux arcs partiels, en fonction de la localisation du volume à irradier. Les doses délivrées au volume cible (PTV) ont été comparées en utilisant l’indice de conformation de Paddick et un indice d’homogénéité (IH=[D98%-D2%]/Dmoy). La dose aux organes à risques a été évaluée à l’aide des contraintes utilisées en routine clinique. Les volumes des isodoses 5, 10 et 15Gy ont permis de comparer les faibles doses délivrées aux tissus sains par les deux techniques.

Résultats. L’indice de conformation de Paddick au PTV est supérieur en VMAT (0,87) de 52% par rapport à la RTC3D (0,57) (p< 0,001). L’homogénéité de dose est meilleure de 39% en VMAT qu’en RTC3D, l’indice d’homogénéité étant respectivement de 0,07 et 0,11 (p< 0,001).

Pour le PRV canal médullaire, la dose maximale moyenne est de 45,6Gy en RTC3D contre 19,3Gy en VMAT (p< 0,001). Le volume cardiaque recevant au moins 35Gy (V35) est passé de 15,6% en RTC3D à 8,3% en VMAT (p< 0,001). La V50 de l’œsophage est également supérieur en RTC3D par rapport au VMAT, passant respectivement de 25,5% à 14,0% (p=0,002).

La dose moyenne au poumon est de 17,9Gy en RTC3D versus 15,5Gy en VMAT, soit une diminution de 13% (p=0,041); la V30 est de 23,6% en RTC3D et de 18,8% en VMAT, soit une diminution de 20% (p=0,001). Néanmoins, il n’existe pas de diminution significative de la V20, passant de 29% en RTC3D à 24,84% en VMAT (p=0,105).

En ce qui concerne les faibles doses délivrées aux tissus sains, on constate que les volumes recevant 5, 10 et 15Gy, sont non significativement différents entre les deux techniques d’irradiation quand la dosimétrie VMAT est réalisée avec des arcs partiels (p> 0,09). En revanche, le volume recevant 5Gy est significativement supérieur de 50% (p=0,024) en VMAT par rapport à la

*Intervenant

†Auteur correspondant: yann.lauzin@chb.unicancer.fr

RTC3D pour les plans de traitements avec arcs complets.

Conclusions. La conformation et l'homogénéité au volume cible sont améliorées en VMAT par rapport à la RTC3D. Les doses reçues par les organes à risques sont significativement réduites, notamment la dose maximale au PRV canal médullaire et la V35 cardiaque, à l'exception de la V20 poumon, qui n'est pas significativement diminuée. Tous ces bénéfices sont possibles sans augmentation des faibles doses en cas d'utilisation d'une balistique avec arcs partiels.

Mots-Clés: dosimétrie, VMAT, RTC3D, poumons

Etat de l'art de la prise en charge du cancer du sein en radiothérapie. Comparaison des approches conformationnelles mono/multi-isocentriques et hélico'idales.

Agathe Leroux *¹, Isabelle Gabelle Flandin¹, Roddy Sihanath¹, Philippe Chartier¹, François Meneu, Jean Yves Giraud¹

¹ CHU Grenoble Alpes – Service de radiothérapie – Boulevard de la Chantourne 38043 Grenoble CEDEX 9, France

Introduction. Les traitements de cancers du sein sont très diversifiés en radiothérapie dû aux nombreuses combinaisons possibles de volumes cibles à irradier. L'étude réalisée ici est une étude rétrospective dont le but est de permettre le choix de la meilleure stratégie de prise en charge selon les zones atteintes. Une comparaison de quatre types de planifications dosimétriques correspondant aux techniques de tomothérapie hélico'idale¹ et directe ainsi que conformationnelle mono² et multi-isocentrique, est réalisée sur deux types de machines de traitement : Tomotherapy et conventionnel.

Méthodes. L'étude dosimétrique a été réalisée pour 3 atteintes bilatérales, 3 côté gauche et 3 côté droit seuls. Les cas choisis pour cette étude correspondent aux plus pénalisants en termes de fréquence d'apparition, de difficulté de planification dosimétrique et de mise en place sous la machine. Pour les atteintes gauches, les patientes retenues n'ont pas bénéficié de l'asservissement respiratoire. La dosimétrie existante correspondant au traitement reçu par la patiente est conservée. Celles des 3 autres techniques sont calculées pour la même prescription et les mêmes volumes. Pour chaque patiente, les 4 dosimétries sont validées médicalement et évaluées selon les critères suivants : indice de conformation et d'homogénéité au volume cible, points chauds et contraintes dosimétriques : poumons : V30Gy, V20Gy, V5Gy ; cœur : Dmax, Dmoyenne, V25Gy ; sein controlatéral : V5Gy ; œsophage : Dmax, V20Gy. *Résultats.* La planification dosimétrique retenue est celle permettant d'obtenir la meilleure épargne des organes à risque, des valeurs optimales pour les indices d'homogénéité et de conformation et la proportion minimale de points chauds, pondéré par le temps de prise en charge au traitement. Les résultats obtenus permettent d'apporter des éléments de discussion pour le choix de la technique la plus avantageuse pour la prise en charge de chacune des situations étudiées.

Conclusions. Cette comparaison dosimétrique permet d'orienter la stratégie de traitement pour des patientes atteintes de cancers du sein en fonction des zones atteintes et d'objectiver le choix technique.

*Intervenant

Références

1. F. Lamberth, P. Guilbert, N. Gaillot-Petit, et al. Indications potentielles de la tomothérapie hélicoïdale dans les cancers du sein. Société française de radiothérapie oncologique, Cancer/Radiothérapie 18(2014)7-14.
2. R. Oozer, L. Aimard, M. Alfonsi, et al. Techniques mono-isocentriques dans les cancers des VADS et les cancers du sein : mise en œuvre. Oncologie (2007) 9 : 428-434.

Mots-Clés: cancer du sein, planification dosimétrique

Evaluation de contours et influence sur la dose aux volumes cibles (VC) et organe à risque (OAR) dans le cas d'un cancer de prostate

Virginie Massaria * ¹, Nathalie Gaillot-Petit *

1

¹ Institut Jean Godinot – CRLCC Jean Godinot – Rue du Général Koenig 51100 Reims, France

Introduction. Dans le cadre de la prise en charge des cancers de prostate, les volumes cibles sont la prostate (PTV HR) et les vésicules séminales (PTV BR) et les principaux OAR sont le rectum, la vessie, les têtes fémorales et le bulbe pénien.

Cette étude a cherché à évaluer la qualité de la délimitation des volumes selon les recommandations de la HAS1 en montrant l'existence ou non de discordances en termes de volumes et l'influence sur les doses délivrées avec différentes techniques de planification de traitement.

Méthodes. Dans un premier temps, ont été évaluées les structures obtenues par la délimitation par 8 radiothérapeutes avec des niveaux d'expérience différents. Les opérateurs (op) ont été anonymisés, le radiothérapeute le plus expérimenté en cancer de la prostate au moment de l'étude est pris en référence (op2). A ensuite été calculé le kappa index (KI) mesurant le degré de concordance entre l'opérateur de référence et un opérateur X.

Dans un second temps, la dosimétrie a été réalisée sur les délimitations précédentes pour une technique de traitement par Tomothérapie à 80 Gy pour le PTV HR et 56 Gy pour le PTV BR en 40 séances. L'étude a plus particulièrement porté sur les extrêmes en disparité de volume pour le PTV HR, le PTV BR et le rectum. Dans chaque cas, la dosimétrie effectuée à partir des contours d'un opérateur A a été reportée sur les contours d'un opérateur B. Ne respectant pas les contraintes aux VC et OAR2 par la méthode précédente, les dosimétries ont été optimisées pour les contours de chaque opérateur. Les doses reçues aux VC et OAR ont été comparées pour les 2 opérateurs concernés par les volumes extrêmes.

Résultats. Dans un premier temps, il a été constaté un bon accord (KI : 0,81-1.00) sur les délimitations de la prostate, des têtes fémorales et de la vessie, un accord moyen (KI : 0.41-0.60) pour les vésicules séminales et le rectum, un faible accord (KI : 0.00-0.20) pour le bulbe pénien. Nous avons constaté que les extrêmes ne sont pas obtenus par les mêmes opérateurs.

Dans un second temps, les dosimétries ont été réalisées sur les extrêmes suivants : [42.06 cc (op1) VS 61.64 cc (op2)] pour la prostate, [11.72 cc (op3) VS 78.38 cc (op5)] pour les vésicules séminales, [21.62 cc (op2) VS 105.27 cc (op4)] pour le rectum. Les différences de volumes constatées ne sont pas liées aux différences de dose observées (pour les extrêmes au rectum, 0.7% et

*Intervenant

8.2% de différences respectivement pour la Dmax et la V50).

Conclusions. Au terme de cette étude, il a été montré une disparité dans la délimitation des volumes en relation avec l'expérience médicale. Dans tous les cas, la dosimétrie optimisée a répondu aux critères de couverture des volumes cibles et d'épargne des organes à risque. Les résultats nous ont permis d'évaluer la qualité de notre technique dosimétrique en Tomothérapie. Par la suite, cette méthode sera reprise pour évaluer notre technique de dosimétrie VMAT.

Références

1. HAS - Thème 4 - radiothérapie externe.
2. ICRU 83.

Mots-Clés: Dosimétrie, Tomothérapie, prostate, délimitation

Impacts dosimétriques des faisceaux FFF grands champs dans le cadre des traitements VMAT des cancers pulmonaires

Anas Moustamia ^{*† 1,2}, Muraro Stephane ¹, Daniel Julian ^{* ‡ 1}

¹ Centre de Cancérologie du Grand Montpellier (CCGM) – Service de Radiothérapie, Clinique Clementville – 25 rue de clementville 34070 MONTPELLIER, France

² Université Clermont Auvergne (UCA) – Ecole Universitaire de Physique et d’Ingénierie – 49, bd François-Mitterrand / CS 60032 / 63001 Clermont-Ferrand Cedex 1, France

Introduction. L’arcthérapie dynamique (VMAT) avec des faisceaux de photons sans cône égalisateur (Flattening Filter Free, FFF) est utilisée dans le cadre de la radiothérapie en conditions stéréotaxiques (SBRT). Les faisceaux FFF présentent des avantages dosimétriques bien identifiés dans la littérature¹ par rapport aux faisceaux filtrés (FF). Cette étude a comparé les impacts dosimétriques entre les faisceaux FF et FFF hors du cadre de la SBRT pour des traitements standards de cancer pulmonaires.

Méthodes. Une cohorte rétrospective a inclus 30 patients atteints d’un cancer pulmonaire et traités par VMAT avec 2 arcs d’énergie X6 FF et des tailles de champs allant de 10x10 cm à 30x30 cm. Les prescriptions étaient comprises entre 50 à 66 Gy, 2 Gy par fraction. Des marges de 5 à 7 mm autour du volume cible anatomo-clinique (CTV) ont été appliquées et les volumes cibles planifiés (PTV) ont été compris entre 50,0 et 1850,0 cm³. A partir des objectifs dosimétriques des plans FF, l’optimisation de la segmentation des faisceaux VMAT ainsi que la distribution de dose en FFF ont été calculées (Varian Eclipse® PRO & AAA V13.6). Les plans ont été normalisés pour que 95% de la dose couvre 98% du PTV. Ont été exclus les plans avec 110% de la dose prescrite couvrant plus de 1% du PTV. Les nombres d’unité moniteur (UM), les temps de traitement, les doses à 2 cm du PTV et aux organes à risques (OAR) ont été comparés.

Résultats. Une diminution du temps de traitement d’une dizaine de seconde a été constaté, en effet celle-ci est limitée par la vitesse rotationnelle du bras de l’accélérateur et du collimateur multi-lames. Un écart-relatif inférieur à 1.0% a été observé pour la dose moyenne au PTV entre les faisceaux X6FFF et X6FF. Une réduction moyenne de la dose de 4,0% ± 0,17% à 2 cm du PTV et 15,2% ± 0,25% aux OAR a été obtenue en X6FFF. La dose moyenne aux poumons sans PTV a été réduite de 7,1% ± 0,13% en X6FFF. Le nombre d’UM moyenne des 60 arcs en X6FFF a présenté une augmentation de 10.0% ± 0,21%.

Conclusions. L’utilisation des faisceaux X6FFF par VMAT pour les champs larges permet une distribution homogène de la dose dans les volumes cibles tout en générant simultanément d’importants gradients de dose permettant une meilleure préservation des tissus sains environnants.

*Intervenant

†Auteur correspondant: moustamia.anas@gmail.com

‡Auteur correspondant: daniel.julian@live.fr

References

1. Zhang, G.G., *et al.* Volumetric modulated arc planning for lung stereotactic body radiotherapy using conventional and unflattened photon beams: a dosimetric comparison with 3D technique. *Radiat Oncol.* 6:152 (2011)

Mots-Clés: FFF, Grands champs, VMAT, Cancers pulmonaires

Etat de l'art et traitements du cancer du sein en Tomotherapy

Manon Nirrengarten * ¹, Natacha Nomikossoff ¹, Eloise Garnier ¹

¹ Hôpital Nord [CHU - APHM] – Service de radiothérapie – Hôpital Nord - Chemin des Bourrely13915Marseille cedex 20, France

Introduction. Le cancer féminin le plus fréquent concerne le sein. Classiquement réalisé en technique conformationnelle 3D (RC3D) sur un accélérateur linéaire, il peut également l'être sur d'autres machines telle que la Tomotherapy, principalement en cas de traitement des deux seins ou de poitrine en entonnoir. Employer cette méthode de traitement pour davantage d'indications de cancers du sein nécessite une étude comparative des balistiques issues d'un accélérateur linéaire avec celles de la Tomotherapy.

Méthodes. La délivrance d'un traitement en Tomotherapy peut être réalisée de manière hélicoïdale (" TomoHelical ") ou à l'aide de faisceaux fixes (" TomoDirect 3DCRT" et " TomoDirect IMRT "). Un état de l'art des méthodes en place accompagné d'une étude dosimétrique comparative va nous permettre d'associer une technique de traitement privilégiée pour chaque indication.

Résultats. Au moment de rédiger ce résumé, les premiers résultats suivent les publications : pour les seins seuls avec ou sans lit tumoral, TD-IMRT permet de couvrir le PTV avec une meilleure conformation et de mieux épargner les organes à risques par rapport à la technique conventionnelle, mais entraîne une plus forte inhomogénéité (points chauds) dans le volume cible. Pour les seins complets, doubles et les parois, la technique hélicoïdale permet de réduire la dose pulmonaire et/ou cardiaque.

Conclusions. Les balistiques réalisées en Tomotherapy se sont avérées en majorité équivalentes ou meilleures que celles réalisées en 3D. TD-IMRT semble être une technique de choix pour le traitement du cancer du sein seul avec ou sans lit tumoral. La technique hélicoïdale quant à elle, est adaptée au traitement des seins complets et des parois.

Mots-Clés: Tomotherapy, dosimétrie, sein

*Intervenant

Vulvar cancer: Comparative study of novel 3D radiation therapy technique ” Advanced conformal technique ” and AP-PA irradiation techniques

Abdelati Nourreddine *[†] ^{1,2}, El Amin Marnouche ¹, Mohammed El Adnani Krabch ², Rajaa Cherkaoui El Moursli ², Nouredine Benjaafar ¹

¹ Department of Radiotherapy, National Institute of Oncology – Rabat, Maroc

² Department of Physics, Faculty of Science, Mohammed V University – Rabat, Maroc

Introduction.

The commonly used technique of vulvar cancer radiation therapy consists of antero-posterior ”AP” and postero-anterior ”PA” fields. This is the first study that reports dosimetric comparison between the AP-PA techniques and the new 3D radiation therapy technique ”advanced conformal technique ACT” based on the multiplicity of treatment fields in patients with squamous cell cancer of the vulva in post-operative setting.

Methods.

This is a comparative planning study of fifteen patients with vulvar carcinoma treated with adjuvant radiation therapy at the National Institute of Oncology in Rabat. Three treatment plans were performed, corresponding to three techniques; photons with source skin distance inguinal supplement, modified segmental boost technique, advanced conformal technique. For each plan, the dose-volume histogram was used to generate target volumes (total and inguinal PTV) and organs at risk OAR (bladder, rectum, bowel and femoral heads) parameters.

Results.

The isodose 95% volume was significantly reduced with the advanced conformal technique ($p < 0.0001$) without compromising the total PTV coverage ($p: 0.94$). This technique resulted in the best conformity and homogeneity index. The ACT decreased significantly the PTVs Dmax and Dmean ($p < 0.0001$), and offered better homogeneity for inguinal PTV 1.07 ± 0.01 respectively ($p < 0.0001$). The ACT decreased the rectum absorbed dose; V40, V45 and Dmax with 50.21 ± 27.21 22.81 ± 10.22 and 46.56 ± 1.11 respectively. Concerning femoral heads, the ACT decreased the Dmax and V45 in comparison to the both other techniques.

Conclusions.

The ACT seems to be an alternative to the AP-PA irradiation techniques in post-operative setting when IMRT is not available.

*Intervenant

[†] Auteur correspondant: nabelati@gmail.com

Mots-Clés: Vulvar cancer, dosimetric comparison

Comparaison de deux systèmes de reconstruction d'imagerie 4D-CT pour les lésions hépatiques

Jessica Prunaretty *¹, Norbert Aillerès¹, Sebastien Simeon¹, Aurelie Morel¹, Pierre Debuire¹, Simon Valdenaire¹, Pascal Fenoglio¹

¹ UNICANCER - Institut régional du Cancer [Montpellier] (ICM) – CRLCC Val d'Aurelle - Paul Lamarque – 208, Avenue des Apothicaires - Parc Euromédecine - 34298 Montpellier Cedex 5, France

Introduction : Le scanner 4D est largement utilisé pour définir l'ITV dans le traitement des tumeurs mobiles. Actuellement, 2 solutions sont proposées pour reconstruire le cycle respiratoire et trier les images: le Real-time Position management (RPM) proposé par Varian et le Smart Deviceless 4D (D4D) disponible chez GE. Pour les lésions pulmonaires, Martin *et al* ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre l'ITV défini sur la somme de toutes les phases issues du RPM et du D4D. L'objectif de cette étude est de comparer les séries d'images issues de ces 2 systèmes dans le cas de lésion hépatique.

Méthodes. Les images 4D de 15 patients ont été sélectionnées. Ces images ont été acquises avec le scanner Optima CT580 de GE. Dix séries CT aux différentes phases du cycle respiratoire (Φ) et une série MIP (Maximum Intensity Projection) ont été générées avec le RPM et le D4D. Le RPM reconstruit le signal respiratoire à partir du mouvement externe du patient (boîtier positionné sur l'abdomen) alors que le D4D utilise l'information des données acquises (contour externe, pulmonaire, densité pulmonaire, ...). Chaque patient était porteur d'un ou plusieurs marqueurs visibles sur le scanner, dans ou proche de la lésion. Les marqueurs ont été contourés automatiquement par seuillage sur les MIP et sur chaque phase Φ . La concordance des contours obtenus sur les images RPM et D4D a été évaluée selon 4 paramètres : l'écart volumique, l'écart des centres de masse (COME), l'indice de recouvrement Jaccard et l'indice de similarité Dice. Le recouvrement et la similarité sont considérés comme acceptables pour des valeurs supérieures à 0.8.

Résultats. A ce jour, les images de 7 patients ont été analysées. L'écart volumique moyen entre le D4D et le RPM est de $-13.6 \pm 10.4\%$ pour les contours MIP et $1.4 \pm 21.3\%$ pour les contours Φ . Ces résultats ne sont pas significatifs du fait de leur disparité (Figure 1). Les images MIP obtenues avec les 2 systèmes sont comparables avec un COME inférieur au millimètre ($0.76 \pm 0.7\text{mm}$) et des indices de recouvrement et similarité supérieurs à 0.8 (Jaccard : 0.83 ± 0.12 ; Dice : 0.89 ± 0.08). Concernant les images des phases, les contours Φ sont plus distants : le COME est de $2.24 \pm 2.02\text{mm}$. Les indices de recouvrement et de similarité sont également plus faibles avec respectivement 0.46 ± 0.35 et 0.55 ± 0.33 .

*Intervenant

Conclusions. Au vu des premiers résultats, les images MIP obtenues avec le RPM et le D4D sont similaires. En revanche, la comparaison des images des phases est moins évidente avec une grande divergence de résultats démontrant un choix de distribution différent des 2 méthodes. Cette étude doit être approfondie afin de déterminer, selon les cas cliniques, quel système privilégier.

References

1. Martin R, Pan T. Target volume and artifact evaluation of a new data-driven 4D CT. *Pract. Radiat Oncol* **7(5)**, e345–e354 (2017).

Mots-Clés: 4D, CT, RPM, D4D, stéréotaxie hépatique

Comment améliorer la qualité de ses plans de traitement par un suivi statistique de ses données patients ?

Magalie Robilliard * ¹

¹ Institut Curie – Institut Curie – 26 rue d’Ulm 75248 PARIS CEDEX 05, France

Introduction. Un suivi statistique de la réalisation des dosimétries cliniques doit garantir une homogénéité dans les pratiques et alerter en cas de dérive. Cette étude nous a permis d’obtenir un indicateur permettant de savoir si l’optimisation est aboutie et de maintenir une bonne pratique dosimétrique pour tous les patients.

Méthodes. Dans notre service, la prescription médicale des patients traités pour un cancer de la prostate est de 75Gy (2.5Gy/fraction) sur la prostate et de 46Gy (2 Gy/fraction) sur les ganglions iliaques. Les plans VMAT sont calculés avec le TPS Eclipse (algorithme AAA version 13.6, Varian). La couverture du PTV satisfait le critère 95% du PTV reçoit au moins 97% de la dose prescrite.

Lors d’une analyse de 32 planifications, ces valeurs HDV sont recueillies et sont triées par ordre croissant :

- Vessie : V57Gy, V70Gy, V75Gy (%)
- Paroi vésicale : V67Gy (cc)
- Rectum : V46Gy, V60Gy, V70Gy, V75Gy (%)
- Paroi rectale : V67Gy (cc)

Le premier quartile (Q1) est la plus petite valeur de la série, telle que 25 % des valeurs soient inférieures ou égales à Q1. La médiane coïncide avec le deuxième quartile (Q2). Le troisième quartile (Q3) est la plus petite valeur de la série, telle que 75% des valeurs de la série soient inférieures ou égales à Q3.

Un score dosimétrique par OAR est calculé de la façon suivante : Si la valeur HDV est inférieure à Q_n , le score est égal à n . Si la valeur HDV est entre Q_n et Q_{n+1} , le score est égal à $(n+1)$. Un score moyen est calculé sur l’ensemble des OAR et doit tendre vers 1. Ce score dosimétrique a

*Intervenant

été calculé pour 45 plans de traitement calculés avec l'algorithme d'optimisation Progressive Resolution Optimizer (PRO13) et 45 plans de traitement avec l'algorithme d'optimisation Photon Optimizer (PO13).

Enfin, la possibilité d'améliorer un plan a été étudiée pour des plans optimisés en PO13 dont le score était supérieur à 4.

Résultats. Les valeurs Q1 à Q4 pour chaque OAR sont présentées dans le tableau 1. Avec le nouvel algorithme PO 13, le score moyen est réduit de façon significative de 3.8 à 3.2 ($p < 0.05$), avec un gain plus important au niveau du rectum où le score est diminué en moyenne de 4 à 3.2 ($p < 0.05$).

Les premiers résultats montrent la possibilité de réduire un score supérieur à 4 en augmentant les contraintes (dose et priorité) principalement sur le rectum. Sur un premier dossier, le score a pu être diminué de 4.6 à 3.2.

Conclusions. Nos contraintes d'optimisation ont aujourd'hui été fixées à Q2 et le processus d'optimisation est poursuivi si le score est supérieur à 4. La révision des quartiles est nécessaire à chaque changement de pratiques, avec une diminution attendue de ces valeurs. Le second but de cette étude est d'alimenter un système de planification expert (Rapidplan, Varian) avec des plans robustes représentatifs de nos pratiques.

Mots-Clés: planification, VMAT, statistiques

Détermination d'un outil d'aide à la décision pour l'implantation d'aiguilles interstitielles en curiethérapie utero-vaginale à débit pulsé

Magali Sandt * ¹, Frederic Gassa ², Pascal Pommier ³

¹ Centre Léon Bérard [Lyon] – CRLCC Léon Bérard – 28, rue Laennec 69373 LYON Cedex 08, France

² Centre Léon Bérard – CRLCC Léon Bérard – Unité de Physique Médicale, service de radiothérapie, 28, rue Laennec 69373 LYON Cedex 08, France

³ Centre Léon Bérard – CRLCC Léon Bérard – 28, rue Laennec 69373 LYON Cedex 08, France

Introduction. Pour la réalisation des traitements de curiethérapies utérovaginales en débit pulsé, l'utilisation d'aiguilles interstitielles en complément des applicateurs endocavitaires a montré son efficacité en cas d'envahissement paramétrial[1],[2]. L'objectif de la présente étude est de déterminer par l'analyse géométrique de l'anatomie et du volume cible à haut risque, les cas où l'implantation d'aiguilles interstitielles peut aider à l'amélioration de sa couverture.

Méthodes. L'étude porte sur les dosimétries de 15 patientes qui ont bénéficié d'une implantation d'aiguilles interstitielles lors de leur traitement. Sur les images scanner ou IRM post-implantation, les dimensions suivantes ont été relevées : la plus petite distance entre la sonde utérine et l'organe à risque le plus proche dans la direction antérieure d'une part (souvent la vessie), la plus grande distance latérale entre la sonde utérine et le bord du CTVHR d'autre part. Le rapport de ces valeurs est noté r . Les planifications ont été calculées et optimisées en technique PDR sur le TPS Oncentra® avec la même méthode dosimétrique par un opérateur unique, avec et sans activation des aiguilles interstitielles. La couverture des volumes cibles (D90 du CTVHR et du CTVRI) et les doses aux organes à risque (D2cc vessie, rectum et sigmoïde) ont été relevées et comparées.

Résultats. L'analyse de l'augmentation de la dose aux volumes cibles en fonction du ratio r a mis en évidence la présence d'un seuil $r=2$. Le test des rangs signés de Wilcoxon pour échantillons appariés montre qu'en dessous de cette valeur, l'ajout d'aiguilles interstitielles n'apporte pas significativement de gain sur la couverture du CTVHR. Mais pour les cols utérins dont le rapport r est supérieur à 2, les aiguilles paramétriales permettent d'améliorer la couverture des CTV de façon significative, (augmentation de 16Gy en moyenne de la D90 du CTV HR et de 9,2Gy en moyenne de la D90 du CTV RI ; $p=0.00195$) sans augmentation significative de la dose aux organes à risque ($p> 0,2$).

Conclusions. L'implantation d'aiguilles interstitielles améliore de façon significative la couverture des volumes cibles lorsque le CTV HR présente un rapport r supérieur à 2, les doses aux organes à risque étant inchangées par ailleurs.

*Intervenant

Références

1. M. Vande Woestyne *et al.* Dosimetric study of parametral implantation of interstitial needles in uterovaginal pulsed dose rate brachytherapy. *Physica Medica* **44**, 42 (2017)
2. C. Bailleux *et al.* Curiethérapie complémentaire de haut débit de dose centro- et latéro-pelvienne des cancers du col utérin avec atteinte paramétriale. *Cancer/Radiothérapie* **19**, 6-7 (2015)

Mots-Clés: Curiethérapie Utérovaginale Interstitielle PDR

Dosimetric comparison of dynamic conformal arc therapy with flattened beams and flattening filter free beams for SBRT lung cancer

Milovan Savanovic * ^{2,1}, Alexandre Orthuon ², Katia Keraudy ², Salima Maroubi ², Damien Brevier ², Jean-Noël Foulquier ²

² Service d'Oncologie-Radiothérapie (Hôpital Tenon AP-HP) – Hôpital Tenon – 4 rue de la Chine, 75020 Paris, France

¹ Faculté de Médecine (Université Paris Saclay) – faculté de médecin – 63 rue Gabriel Péri, 94 276 Le Kremlin-Bicêtre, France

Introduction: The aim of this study was to compare dosimetric gain using dynamic conformal arc (DCA) with flattened filter (FF) and flattening filter free (FFF) beam for lung stereotactic body radiation therapy (SBRT).

Methods and materials: In our institution, SBRT lung cancer patients were treated with prescribed dose 60 Gy in 4 or 8 fractions. In Pinnacle 9.10 were planned two partial DCA's for peripheral tumors and three to four partial DCA's for central region tumors to help pull dose of the OARs (heart, esophagus, spinal cord and ribs). Treatments were delivered with 6 MV beams and dose rate 600 MU, for TrueBeam STx accelerator. Fifty patients who underwent lung SBRT treatment with DCA with FF were retrospectively analysed using 6 MV FFF beams with dose rate of 1400 MU. We were observing the planning target volume (PTV) coverage, sparing of organ at risks (OARs) and time of treatment delivery.

Results: The PTV coverage (D98% > 95%) were similar, 98.3% vs 98% for FF and FFF, with 1887 MU's vs 1860 MU's, respectively. Dosimetric gain between FF and FFF for max dose to the heart was 1 Gy vs 0.87 Gy ($p < 0.0001$). Max dose for spinal cord was 8.84 Gy vs 8.38 Gy ($p < 0.0001$). Max dose for esophagus was 9.76 Gy vs 8.94 Gy ($p < 0.0001$). Max dose for ribs was 34.16 Gy vs 31.89 Gy ($p < 0.0001$). Time of treatment delivery was 4.50 minutes vs 2.43 minutes ($p = 0.0006$), for FF and FFF, respectively.

Conclusion: Treatment delivery with FFF DCA allows better sparing of OARs for SBRT of lung cancer patients. Shorter treatment time with FFF DCA for SBRT of lung cancer patients can reduce potentially discomfort or patient motion.

Mots-Clés: Flattening filter free beam, dynamic conformal arc, SBRT, PTV, OAR

*Intervenant

Is dose escalation in intracranial pediatric ependymoma feasible with advanced radiation techniques?

Fatima Tensaouti * ^{1,2}, Anne Ducassou ¹, Stéphanie Bolle ³, Jean-Louis Habrand ⁴, Claire Alapetite ⁵, Bernard Coche-Dequeant ⁶, Valérie Bernier ⁷, Line Claude ⁸, Christian Carrie ⁸, Laetitia Padovani ⁹, Xavier Muracciole ⁹, Stéphane Supiot ¹⁰, Aymeri Huchet ¹¹, Julie Leseur ¹², Christine Kerr ¹³, Grégory Hangard ¹, Albert Lisbona ¹⁴, Farid Goudjil ¹⁵, Régis Ferrand ¹⁶, Anne Laprie ^{1,2}

¹ Institut Claudius Regaud – IUCT Oncopole – IUCT Oncopole, 1 Av. Irène Joliot-Curie, 31100 Toulouse - France, France

² Toulouse Neuro Imaging Center (ToNIC) – Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : U1214 – CHU PURPAN - Pavillon Baudot - Place du Dr Baylac 31024 TOULOUSE - Cedex 3, France

³ Institut Gustave Roussy (IGR) – Institut Gustave Roussy (IGR) – 114, rue Édouard-Vaillant 94805 Villejuif Cedex -France, France

⁴ Centre François BACLESSE (CFB) – Centre François BACLESSE – 3, avenue Général HARRIS BP 5026 14076 CAEN cedex 5, France

⁵ Institut Curie – Institut Curie – 26, rue d’Ulm; Paris 5e, France

⁶ Centre Oscar Lambret – centre oscar lambret – 3 Rue Frédéric Combemale, 59000 Lille - France, France

⁷ Centre Alexis Vautrin-Vandoeuvre – Centre Alexis Vautrin-Vandoeuvre – 6 Avenue de Bourgogne, 54519 Vandœuvre-lès-Nancy - France, France

⁸ Centre Léon Bérard [Lyon] – Centre Léon Bérard [Lyon] – 28, rue Laennec 69373 LYON Cedex 08, France

⁹ Hôpital de la Timone [CHU - APHM] (TIMONE) – Hôpital de la Timone [CHU - APHM] – Hopital de la Timone 264 Rue Saint Pierre, 13005 Marseille 05, Provence-Alpes-Côte d’Azur, France

¹⁰ Institut de cancérologie de l’Ouest - Nantes (ICO Nantes) – CRLCC René Gauducheau – Nantes, France

¹¹ CHU Bordeaux, HOPITAL SAINT-ANDRE – CHU Bordeaux – 1 Rue Jean Burguet (HOPITAL SAINT-ANDRE - CHU), 33000 Bordeaux, France

¹² Centre Eugène Marquis – Centre Eugène Marquis – Avenue Bataille Flandres-Dunkerque 35042 RENNES CEDEX, France

¹³ Institut du Cancer de Montpellier (ICM) – Institut du Cancer de Montpellier – 208 Avenue des Apothicaires, 34298 Montpellier, France

¹⁴ Institut de cancérologie de l’Ouest - Nantes (ICO Nantes) – CRLCC René Gauducheau – Nantes, France

¹⁵ Institut Curie, Centre de protonthérapie, Orsay – Institut Curie, Institut Curie – Campus Universitaire - Institut Curie, 15 Rue Georges Clemenceau, 91400 Orsay, France

¹⁶ Département d’Ingénierie et de Physique Médicale, IUCT-Oncopole (IUCT-O) – CRLCC Institut Claudius Regaud – 1 Av. Irène Joliot-Curie, 31100 Toulouse, France

Introduction. For pediatric ependymoma, a frequent pediatric brain tumor, radiotherapy is

*Intervenant

systematically delivered after surgery and the standard dose is 59, 4 Gy with still a 40% relapse rate. A majority of relapses occur within the high dose regions (Tensaouti et al, 2017) and a survival benefit was described with an additional boost with SBRT on residue (Massimino et al, 2016). MacDonald et al, found that proton beams and IMRT have similar target coverage, but normal tissue sparing was better in proton (MacDonald et al, 2008). This prompted us to perform a dose escalation approach with an in-silico dosimetric comparison between Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) photon therapy and Intensity Modulated Proton Therapy (IMPT).

Méthodes. The study included 101 patients (60.4 % with posterior fossa), from the national multicentric PEPPi database (Ducassou et al, 2015). The dose to PTV59.4 was 59.4/1.8 Gy and the dose to simultaneous integrated boost volume, PTV67.6 was 67.6/2.05 Gy (this dose being chosen as an equivalent to sequential SBRT boost in the European trial NCT02265770). The Gross Total tumor (GTV) was defined as the tumor bed plus residual tumor, CTV59.4 was GTV+5 mm, PTV59.4 = CTV59.4 +3 mm. PTV67.6 was GTV+ 3 mm. Ballistic choices were made regarding the risk on brainstem. All treatment plans were optimized with the physical dose-volume objectives/constraints (for targets as well as OARs). All plans were created by the same physicist using RaySearch System planning (Raysearch laboratories, Stockholm, Sweden, v5.0) and validated by an experienced radiation oncologist. Doses to target volume and 11 OARs were extracted from the HDV and treatment plans quality indices were derived. Additionally doses to OARs obtained in silico with SIB were compared to those really delivered to the patients in initial treatment (IT)

Résultats. The mean integral dose was much lower with SIB IMPT compared with SIB VMAT ($p < 0.001$). Planned target volume coverage (V95%) was similar. Conformity (CI) and homogeneity indices (HI) were better with protons for most cases ($p < 0.001$). Mean and maximum doses to organs at risk were significantly lower with protons ($p < 0.001$) and not significantly different between SIB VMAT and initial treatment. In cases of posterior fossa tumor, with OARs in close vicinity to the PTV, a significant gain with protons was observed on dose for the brainstem, on V59Gy, mean and D2% near maximum doses.

Conclusions. Dose escalation in pediatric ependymoma is feasible with both techniques, but there is a potential significant gain on dose to OARs, including brainstem, with protons. One perspective for this study is LET based optimization. The other one is to stratify the population that could undergo such dose increase based on residue presence, advanced imaging factors (Tensaouti et al, 2016, Tensaouti et al 2018) and molecular biology (Pajtler et al, 2015).

Mots-Clés: Ependymoma, Pediatric, Proton, VMAT, Boost

Impact of a CT artifact reduction algorithm in radiotherapy: preliminary qualitative and quantitative aspects

Rémy Villeneuve ^{*†} ¹, Sandrine Biteghe ¹, Oreste Allegrini ^{*}

¹, Régis Amblard [‡] ¹, Nicolas Garnier [§] ¹, Benjamin Serrano [¶] ¹

¹ Princess Grace Hospital Center (CHPG) – avenue Pasteur Monaco, Monaco

Introduction. In radiotherapy, CT images have two main objectives: allow volumes delineation and obtain electron densities for dose calculation. The presence of dense structures such as hip prostheses or dental implants create artifacts that can significantly impair both of these goals. Iterative Metal Artifact Reduction (IMAR) is a metal artifact reduction algorithm developed by Siemens, which greatly facilitates the delimitation of volumes. We studied its impact on the modification of Hounsfield units (HU) as well as the dosimetric consequences for pelvis and head&neck (H&N) regions.

Methods. All CT acquisitions were made on a Somatom AS 20 Definition (Siemens) at 120 kV, 400 mAs and 2 mm slice thickness. For the pelvic region, we used a phantom composed of a water equivalent material in which we inserted two hip prostheses. For the H&N sphere, we used an anthropomorphic phantom (CIRS Atom 701) with two pieces of lead inserted in the teeth. CT acquisitions were performed with inserts (prostheses or lead), with IMAR reconstruction (imarCT), and without (artefactCT). We used the protocol HIP implants for pelvis and Dental fillings for H&N. A CT acquisitions without insert were also done (baselineCT). Using the Matlab software (V2014), we calculated, in significant regions (between metal inserts), the HU differences between baselineCT and respectively imarCT and artefactCT. In order to estimate the dosimetric impact of these HU variations we performed a treatment planification on both phantoms and on patients with pelvic and dental implants with the treatment planning system V13.6 (Varian). In pelvic we use 4 static fields of 15 MV and in the H&N 2 RapidArc beams of 6 MV. The results are given in terms of mean, standard deviation (σ) and most likely value (p).

Results. For the pelvic area, the HU deviations from the baseline CT are 84 HU ($\sigma = 53$ HU, p = 100 HU) and -106 HU ($\sigma = 487$ HU, p = 200 HU) respectively for imarCT and artefactCT. For the H&N the HU deviations are 15 HU ($\sigma = 34$ HU, p = 0 HU) and 44 HU ($\sigma = 413$ HU, p = 200 HU) respectively for imarCT and artefactCT. We note in both cases a spread of HU without IMAR and a slight overestimation of HU with IMAR. The dosimetric impact, based on the comparison between the planification made with imarCT and artefactCT showed

*Intervenant

†Auteur correspondant: remy.villeneuve@chpg.mc

‡Auteur correspondant: regis.amblard@chpg.mc

§Auteur correspondant: nicolas.garnier@chpg.mc

¶Auteur correspondant: benjamin.serrano@chpg.mc

for the pelvic area, in the phantom, a dose variation from -11 % to 1 % with an average of -4.6 % ($\sigma = 3$ %) while in the patient, the variation is between -10.8 % to +0.4% with an average of -3.4 % ($\sigma = 2.3$ %). For the H&N area, in the phantom, the difference in dose varies from -10 % to 7.4 % with an average of -0.6 % ($\sigma = 2$ %), whereas in the patient, the difference in dose varies from -3 % to 24 % with an average of 0.6 % ($\sigma = 2$ %).

Conclusions. In addition to being an undeniable aid to delineation, it seems in this preliminary study that IMAR is a significant tool to issue metal artefact problem in calculating dose in patient with metal implants close to treated areas.

Mots-Clés: CT scanner, Metal, Artefact, Hounsfield Unit, Radiotherapy, treatment planification

Optimisation Multi-Critères en Tomotherapy

Antoine Wagner ¹, Thomas Lacornerie ^{*† 2}, Frederik Crop ¹, Pauline Comte
, Romain Cayez ¹, Julien Laffarguette , Nick Reynaert ¹

¹ Centre Oscar Lambret, Lille (COL) – CRLCC Oscar Lambret – 3, rue Frédéric Combemale BP 307 - 59020 LILLE Cedex, France

² Center Oscar Lambret, Lille – CRLCC Oscar Lambret – 3, rue Frédéric Combemale BP 307 - 59020 LILLE Cedex, France

Introduction. Nous avons réalisé une première étape pour l'évaluation du module dédié à la Tomotherapy dans le système de planification RayStation (RayTomo).

Méthodes. 15 patients (ORL, pelvis, sein avec ganglions) traités avec le système de planification intégré de la Tomotherapy (TomoPS) ont été planifiés à nouveau avec RayTomo. Pour éviter la variabilité liée à l'utilisateur avec une optimisation classique, les contraintes de l'optimisation multi-critères (MCO) ont été générées avec un script tenant compte de l'intersection des OAR avec les cibles et un temps de traitement égal à celui du plan TomoPS. Après avoir fixé une couverture des volumes cibles équivalentes dans la fenêtre de navigation entre les plans Pareto-optimum, les résultats sont comparés pour les doses aux organes à risque (OAR) selon leurs priorités. Puis le plan choisi est exporté vers la Tomotherapy pour réaliser un contrôle spécifique avec le fantôme Octavius et les détecteurs 2D-Array. Les résultats ont été analysés avec l'index local 3%/3mm.

Résultats. Les doses moyennes aux OAR sont significativement réduites pour les ORL et les pelvis (tables 1 et 2). Pour les cas de seins cette diminution est moins importante. Les contrôles spécifiques des plans respectent notre critère d'acceptation en routine (95% avec 3%/3mm) montrant que ces plans peuvent aussi être réalisés dans de bonnes conditions par la machine bien que l'optimisation et donc la façon d'utiliser le collimateur multi-lames soit différente.

Conclusions. Nos résultats suggèrent que les plans obtenus par MCO permettent de mieux épargner les OAR que l'optimisation classique (TomoPS). Et le besoin d'interaction avec le système est réduit de même que les données saisies par l'utilisateur, ce qui devrait conduire à plus d'homogénéité des plans entre différents utilisateurs et différentes institutions

References

1. KL Moore *et al.* Experience-based quality control of clinical intensity-modulated radiotherapy planning. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **81(2)**, 545-51 (2011).

*Intervenant

†Auteur correspondant: t-lacornerie@o-lambret.fr

Mots-Clés: optimisation multicritères Tomotherapy

RT - Radiothérapie Adaptative et Machine learning

A MRI radiomic signature for predicting brachytherapy outcomes in locally advanced cervical cancer

Anthony Alexis * ^{3,2,1}, Sylvain Reuzé ^{1,2,3,4}, Sophie Bockel ³, Kevin Berthelot ³, Isabelle Dumas ², Fanny Orlhac ⁵, Roger Sun ^{3,4}, Alexandre Escande ⁶, Samy Ammari ⁷, Christine Haie-Meder ³, Cyrus Chargari ^{1,3,4,8,9}, Eric Deutsch ^{1,3,4}, Charlotte Robert ^{1,2,3,4}

³ Gustave Roussy, Université Paris-Saclay, Department of Radiotherapy – Université Paris Sud, Université Paris Saclay – F-94805, Villejuif, France

² Gustave Roussy, Université Paris-Saclay, Department of Medical Physics – Université Paris Sud, Université Paris Saclay – F-94805, Villejuif, France

¹ Université Paris Sud, Université Paris-Saclay, F-94270, Le Kremlin-Bicêtre – Université Paris-Sud - Paris 11, Université Paris-Sud - Paris 11 – F-94270, Le Kremlin-Bicêtre, France

⁴ INSERM, U1030, F-94805, Villejuif – INSERM U1030 – F-94805, Villejuif, France

⁵ IMIV – Université Paris-Saclay, Sorbonne Universités, Université Paris Sud - Paris XI, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale - INSERM, Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Centre de recherche du Commissariat à l’Energie Atomique - CEA Cadarache (Saint Paul-lez-Durance, France) – 4 place du Général Leclerc 91400 Orsay, France

⁶ Center Oscar Lambret, Department of Radiotherapy – CRLCC Oscar Lambret – 3, rue Frédéric Combemale BP 307 - 59020 LILLE Cedex, France

⁷ Gustave Roussy, Université Paris-Saclay, Department of Medical Imaging – Université Paris Sud, Université Paris Saclay – F-94805, Villejuif, France

⁸ French Military Health Services Academy, Ecole du Val-de-Grâce – French Military Health Services Academy, Ecole du Val-de-Grâce – Paris, France

⁹ Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA) – Institut de recherche biomédicale des armées – Brétigny-sur-Orge, France

Introduction The standard treatment of locally advanced cervical cancer (LACC) consists of concomitant chemoradiation followed by brachytherapy. The recent implementation of image-guided adaptive brachytherapy (IGABT) has shown a significant improvement in local control while limiting toxicity. We identified a radiomic signature of LACC relapse based on per-brachytherapy MRI.

Methods 100 patients with LACC treated with pulsed-dose-rate IGABT after initial chemoradiation were retrospectively included (TS: N=60, training; VS: N=40, validation). Using LIFEx, we extracted 30 textural features from the clinical target volume delineated on T2 FSE MRI. A methodological study was carried out to identify the most robust and informative features. The ability of remaining features to predict relapse was assessed through univariate and multivariate statistical analysis.

*Intervenant

Results 9 clusters including 24 robust features were considered for the clinical analysis. In univariate analysis, five features were statistically significant predictors of overall recurrence (TS: $p < 0.05$). A 5-feature signature predicting relapse was identified and validated (TS: AUC=0.88, $p < 0.00001$, VS: AUC=0.78, $p < 0.01$) and performed better than the five features determined from univariate analysis and the tumor volume (TS, Delong's test, $p < 0.05$).

Conclusion Our radiomics signature has been validated in an institutional cohort. MRI-based texture analysis could provide clinically relevant information to adapt brachytherapy planning. However, standardization of MRI protocols or development of normalization methods is still needed to perform multi-center MRI-based radiomics studies.

Mots-Clés: texture analysis, cervical cancer, brachytherapy, radiomics, MRI

Evaluation d'une méthode de correction des Unités Hounsfield sur Cone Beam-CT dans les stratégies de re-calcul de doses

A. Badey ^{*† 1}, V. Bodez ¹, C. Khamphan ¹, E. Jaegle ¹, M.e. Alayrach ¹, P. Martinez ¹, R. Garcia ¹

¹ Institut Sainte-Catherine, Avignon – Institut Sainte-Catherine – 250 Chemin de Baigne Pieds, 84918 Avignon Cedex 9, France

Introduction. La vérification de la délivrance des rayonnements dans les conditions du jour est rendue possible avec les modalités d'imagerie 3D telles que le Cone-Beam CT (CBCT). La technique CBCT est impactée par des artefacts liés aux principes physiques d'acquisition et de reconstruction, responsables notamment de variabilités des Unités Hounsfield (UH). Le but de ces travaux est d'évaluer les performances et la précision du calcul de doses sur CBCT avec correction des UH avec un recalage déformable (Velocity® 3.2, VMS, E.-U.) entre CT et CBCT. *Méthodes.* L'étude est découpée en deux axes : (a) une évaluation de la qualité image et de la variabilité des UH entre CTREF (Aquilion LB®, CMS, P.-B.), CBCTOBI (OBI® v1.6), CBCTTB (TrueBeam® v2.5) et CBCT corrigés (CBCTRD,OBI et CBCTRD,TB) obtenus avec Velocity®, à l'aide du Catphan® 504 (Phantom Laboratory, E.U.). L'analyse est effectuée à l'aide du module d'analyse Artiscan® (Aquilab, France). (b) A l'aide du fantôme CIRS Pelvis® (CIRS, E.-U.), des plans de traitement de vessie et de hanche en RC3D et de prostate en VMAT sont calculés (AAA v13.5®, Aria®, VMS, E.-U.) sur le CTREF (120kV), puis calculés en UM's fixes, avec une courbe UH-densité électronique unique, sur le CBCTTB (TrueBeam® v2.5, 125kV) et le CBCTRD,TB obtenus via Velocity®. Une comparaison de paramètres dosimétriques (D98%, D50%, D2%) est effectuée ainsi qu'une comparaison de matrices de doses CT-CBCT calculées à l'aide de l'indice gamma obtenu avec 3DSlicer® (v.4.6).

Résultats. L'évaluation sur Artiscan® de l'uniformité avec le Catphan® 504 à l'aide de régions d'intérêt prédéfinies, est comparée (graphique 1). Les écarts moyens d'uniformité absolue pour les régions d'intérêt entre référence (CT) et la modalité CBCT à évaluer sont en moyenne de 24 pour le CBCTTB, de 30 pour le CBCTOBI, et moins de 20 pour les CBCTRD,TB, OBI. La taille du pixel est identique entre CT et les CBCTRD,TB, OBI, et la restitution des distances est infra-millimétrique pour chacune des modalités. L'atténuation est comparée (graphique 2), les écarts moyens en UH de tous les inserts, entre CTREF et les modalités CBCTOBI,TB / CBCTRDOBI,TB, sont de 1 UH pour les CBCTRD,TB,OBI (min.=0 UH ; max.=3UH) et supérieurs à 13 UH pour les CBCTTB,OBI (min.=2 UH ; max.=132UH). Les écarts les plus importants sont observés dans les régions hypo- et hyperdenses.

La comparaison des paramètres D98%, D50%, D2%, entre CBCT et CT montre des écarts

*Intervenant

†Auteur correspondant: a.badey@isc84.org

supérieurs à 3% dans les régions à UH supérieurs à 200 UH, et inférieurs à 0.5% dans les régions de densité proche de l'eau. Entre CBCT RD, TB et CT, les écarts moyens observés sont systématiquement inférieurs à 1% pour les organes évalués et les résultats sont en moyenne de 98% avec un gamma inférieur à 1 (1%/1mm).

Conclusions. La méthode de correction des UH est pertinente pour tenir compte des incertitudes physiques associées à la modalité CBCT. Cet outil est prometteur et sera à évaluer sur des images patients pour confirmer ces résultats.

Mots-Clés: CT, CBCT, Correction des Unités Hounsfield, radiothérapie adaptative

Utiliser l'imageur portal avec des réseaux de neurones

Frederic Chatrie *^{1,2}, Ana Rita Barbeiro³, Xavier Franceries³,
Marie-Véronique Le Lann⁴

¹ Centre de Recherche en Cancérologie de Toulouse (CRCT) – Université Paul Sabatier - Toulouse 3, CHU Toulouse [Toulouse], Hôpital Purpan, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : U1037 – Place du Docteur Baylac - BP 3028 - 31024 Toulouse Cedex 3, France

² LAAS-CNRS – INSMI (CNRS) – 7 avenue Colonel Roche, France

³ Centre de Recherche en Cancérologie de Toulouse (CRCT) – Université Paul Sabatier - Toulouse 3, CHU Toulouse [Toulouse], Hôpital Purpan [Toulouse], Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : U1037 – Place du Docteur Baylac - BP 3028 - 31024 Toulouse Cedex 3, France

⁴ LAAS-CNRS – CNRS – 7 avenue colonel Roche, France

Introduction. Dans cette étude, les réseaux de neurones sont utilisés en radiothérapie externe pour effectuer des calculs dosimétriques, en utilisant l'imageur portal EPID (Electronic Portal Imaging Device), dont des calibrations et des réglages complexes sont nécessaires.

Ce travail concerne préalablement le contrôle qualité de la radiothérapie conformationnelle avec ou sans modulation d'intensité. Cette étape permettra d'ajuster les algorithmes de réseaux de neurones artificiels avant de se concentrer vers des traitements plus complexes et une dosimétrie *in-vivo*.

Méthodes. Tout comme les humains, les réseaux de neurones artificiels fonctionnent par l'intermédiaire de deux phases : l'apprentissage et la reconnaissance. La phase d'apprentissage supervisée implique l'utilisation de " neurones " liant les données d'entrées et sorties. La phase de reconnaissance consiste à utiliser les données d'entrées permettant de prédire les données de sorties.

Durant la phase d'apprentissage, les images EPID et les distributions de dose absorbée (prises à partir du système de planification de traitement - TPS) sont utilisées respectivement comme données d'entrées et de sorties. Une fois que la phase d'apprentissage est terminée, une nouvelle image EPID peut être utilisée pour prédire la distribution de dose absorbée délivrée pouvant être comparée avec celle planifiée par le TPS.

La phase d'apprentissage a besoin de fortes ressources et temps de calculs pour pouvoir fixer les paramètres des réseaux de neurones et permettre à la phase de reconnaissance d'être calculée de manière instantanée.

Résultats. L'apprentissage a été effectué avec 11 données d'entrées/sorties concernant le traitement de Radiothérapie Conformationnelle à Modulation d'Intensité (RCMI).

Toutes les images utilisées (les entrées EPID et les sorties de distribution de dose absorbée) contiennent 384 x 512 pixels et ont été obtenues durant un traitement 6MV, avec un débit de

*Intervenant

dose de 600 UM/min.

Le gamma index, γ , a été utilisé pour évaluer la différence entre la dose absorbée calculée par les réseaux de neurones et celle planifiée. γ donne le nombre de pixels en pourcentages qui respecte un objectif défini. $\gamma(2\%, 2\text{mm})$ global concernant l'ORL a donné 99,7%, ce résultat démontre la capacité des réseaux de neurones à prédire une distribution de dose absorbée à partir de l'EPID. *Conclusions.* Il a été montré dans cette étude que le contrôle qualité de la radiothérapie conformationnelle ainsi que dans le cadre de la RCMi peut être fait avec des algorithmes d'apprentissage artificiels. La prochaine étape sera la généralisation des réseaux de neurones en augmentant le nombre de données durant la phase d'apprentissage. Les travaux de recherche à venir visent à calculer la dosimétrie 3D *in-vivo*, notamment en prenant en compte les hétérogénéités du patient.

Mots-Clés: Radiothérapie externe, réseaux de neurones, EPID

Etude dosimétrique sur calcul CBCT des traitements VMAT pour la localisation ORL dans le cadre d'une approche de la radiothérapie adaptative

Soufiane Chouaf *[†] 1,2, Daniel Julian ², Stephane Muraro * [‡] 2

¹ Université Clermont Auvergne (UCA) – Ecole Universitaire de Physique et d'Ingénierie – 49, bd François-Mitterrand / CS 60032 / 63001 Clermont-Ferrand Cedex 1, France

² Centre de Cancérologie du Grand Montpellier (CCGM) – Service de Radiothérapie, Clinique Clementville – 25 rue de clementville 34070 MONTPELLIER, France

Introduction. Le traitement des cancers de la sphère ORL est fractionné en 35 séances de 2 Gy, pour une durée de 7 semaines. Des modifications anatomiques peuvent apparaître et perturber le repositionnement du patient ainsi que la distribution de dose, notamment pour l'archthérapie avec modulation d'intensité (VMAT). Pour les besoins de la radiothérapie adaptative (ART), un calcul dosimétrique précis à partir des images CBCT et une méthode d'évaluation des modifications interfractions du plan de traitement doivent être établis. L'étude présente une optimisation des paramètres d'acquisition CBCT pour le calcul de dose et la mise en place de critères de replanification dosimétrique.

Méthodes. La calibration d'un nouveau mode CBCTORL,ART avec un champ de vue de 25 cm (Varian Clinac® OBI 1.6) a été réalisée après modification de la distance source-imageur (DSI), de la tension du tube (kVp) et de la charge (mAs). Les courbes de correspondance entre les unités Hounsfield (UH) et les densités électroniques ont été déterminées à l'aide du fantôme CIRS (062M) associé au Quasar™ (Modus QA) sur le logiciel de post-traitement Syngo.via (Siemens Healthiners) pour le scanner dosimétrique CTplan (Siemens Somatom Scope) et le CBCTORL,ART. L'indice de dose de scanographie volumique du CBCTORL,ART1 (IDSVCBCT) a été estimé via l'utilisation d'une chambre d'ionisation de 0.3 cm³ et d'un fantôme PMMA de 26 cm. Une cohorte rétrospective de 38 patients présentant des cancers ORL et ayant bénéficié d'un traitement VMAT avec un CBCTORL,ART par semaine en 2017, ont été inclus dans cette étude. Pour chaque patient, un algorithme de recalage déformable (RD) a été appliqué aux images CTplan et CBCTORL,ART sur Syngo.via. Les champs vecteurs de déformation (CVD), les contours des volumes cibles (PTV) et des organes à risques (OAR) ainsi que les histogrammes dose volume (HDV) ont été comparés afin d'évaluer la faisabilité du calcul dosimétrique à partir des images déformées.

Résultats. Le mode CBCTORL,ART avec les paramètres d'acquisition suivants a été choisi : 100 kVp, 145 mAs et une DSI de 150 cm. Un IDSVCBCT de 3,8 mGy a été mesuré avec un écart relatif de +1,8% par rapport aux données constructeur. Le champ de vue du CBCT étant

*Intervenant

[†]Auteur correspondant: soufianechouaf@yahoo.fr

[‡]Auteur correspondant: stephane.muraro@gmail.com

limité, l'application du RD sur ces projections conduit à des erreurs significatives. Le critère 95% des voxels ne devant pas excéder 2mm pour la comparaison des CVD du CTplan a été respecté. L'étude des HDV montre un calcul de dose plus précis pour la déformation du CTplan recalé sur l'image CBCTORL,ART.

Conclusions. Cette première approche de la radiothérapie adaptative permet de valider la faisabilité de l'évaluation dosimétrique sur calcul CBCT. Suite à cette étude, un protocole d'alerte dosimétrique a été mis en place afin d'évaluer la nécessité d'une replanification au cours du traitement.

References

1. American Association of Medical Physics (2010) Report of AAPM Task Group 111: The future of CT dosimetry. AAPM, College Park.

Mots-Clés: Optimisation, Recalage d'image déformable, Radiothérapie Adaptative, ORL, VMAT, CBCT, ART

Radiomics des leucémies lymphoïdes chroniques : segmentation multi-label des IRM corps entier

Eloïse Grossiord ^{* 1}, Vijaya Ghorpade ², Laurent Risser ², François Malgouyres ², Richard Aziza ¹, Salim Kanoun ¹, Loïc Ysebaert ¹, Anne Quillet-Mary ³, Soleakhena Ken ¹

¹ Institut Universitaire du Cancer de Toulouse – Oncopôle (IUCT-O) – CRLCC Institut Claudius Regaud – 1 avenue Irène Joliot-Curie 31059 Toulouse Cedex 9, France

² Institut de Mathématiques de Toulouse (IMT) – UMR5219; CNRS UPS IMT – 118 route de Narbonne, France

³ Centre de Recherches en Cancérologie de Toulouse (CRCT) – CRCT toulouse – 2 Avenue Hubert Curien, 31100 Toulouse, France

Introduction.

L'arrivée de nouvelles molécules pour la prise en charge de ces leucémies nécessite un suivi longitudinal pour évaluer la réponse au traitement. Notre objectif est de segmenter les organes cibles pour permettre l'extraction de biomarqueurs d'imagerie IRM, TDM et TEP.

Méthodes.

Les patients ont des examens d'imagerie à M0, avant traitement, à M1, M12 et M24. Une segmentation basée sur l'algorithme du Fast-Marching intégrant un terme de régularisation a été développée[1], elle consiste à placer des graines "organe" et "fond" pour différencier à l'IRM les cibles, i.e. les ganglions cervicaux, axillaires, inguinaux, iliaques rétro-péritonéaux, médiastinaux ainsi que le foie, la rate et la moelle osseuse. Le processus est interactif et itératif car l'utilisateur peut rajouter ou déplacer les graines pour relancer et affiner sa segmentation. Chaque organe (10) défini sur l'IRM, est caractérisé par 106 descripteurs (dimensions), extraits du module Radiomics[2] de 3D Slicer.

Résultats.

Pour les images IRM de 3 patients, les temps de segmentation moyens étaient de 98, 132 et 56 minutes avec un outil utilisé en routine clinique et sont passés à 31, 31 et 19 minutes avec la méthode interactive. Les coefficients de DICE globaux étaient de 0,90 ; 0,92 et 0,87. La figure 1 présente les résultats de la segmentation interactive à M0, M1 et M12 pour un même patient. Les groupes de descripteurs à M0 sont présentés dans le Tableau 1. Une exploration de la distribution des descripteurs radiomics par organe a été considérée. La figure 2 montre la distribution de ces organes dans un plan après réduction de dimension (106 dimensions dans l'espace des descripteurs radiomics réduit à un plan 2D) au travers de l'algorithme t-sne. L'algorithme t-sne

*Intervenant

permet de conserver au mieux la distance entre les points d'observation dans l'espace d'origine. On peut observer i) une proximité de chaque type d'organes à travers leurs descripteurs et ii) une répartition similaire des patients au sein de chaque groupe d'organe.

Conclusions.

La mise en place de la segmentation interactive nous a permis de d'étudier l'évolution des organes cibles. En plus de suivre les variations de paramètres simples comme les volumes, les moyennes, les quartiles dans les différentes modalités d'imagerie, d'autres descripteurs ont été extraits. Ces données radiomics vont être combinées avec les données de prélèvements biochimiques. Une étude de ces données de nature hétérogène et provenant de différentes temporalités sera également considérée.

References

1. Risser, L *et al.* Regularized Multi-Label Fast Marching: Application to Whole-Body Image Segmentation. *IEEE Int. Symp. Biomed. Imaging.* (2018).
2. van Griethuysen, J. J. M. *et al.* Computational Radiomics System to Decode the Radiographic Phenotype. *Cancer Res.* (2017)

Mots-Clés: Radiomics, Segmentation, IRM corps entier

Génération de pseudo-CT à partir d'IRM en radiothérapie : comparaison de 3 méthodes

Axel Largent ^{* 2,1}, Anaïs Barateau ^{3,1}, Jean-Claude Nunes ^{1,2}, Caroline Lafond ^{4,3,1}, Peter Greer ⁵, Jason Dowling ⁶, Hervé Saint-Jalmes ^{1,2}, Oscar Acosta ^{1,7}, Renaud De Crevoisier ^{1,4,8}

² Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image (LTSI) – Université de Rennes 1, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : U1099 – Campus Universitaire de Beaulieu - Bât 22 - 35042 Rennes, France

¹ INSERM (U 1099) – Inserm – Rennes, France

³ Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image (LTSI) – Inserm : U1099, Université de Rennes 1 – Campus Universitaire de Beaulieu - Bât 22 - 35042 Rennes, France

⁴ Centre Eugène Marquis – CRLCC Eugène Marquis – Avenue Bataille Flandres-Dunkerque 35042 RENNES CEDEX, France

⁵ School of Mathematical and Physical Sciences University of Newcastle – Newcastle, Australie

⁶ CSIRO Australian e-Health Research Centre – Queensland, Australie

⁷ Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image (LTSI) – Inserm, Université de Rennes I – Campus de Beaulieu, 263 Avenue du Général Leclerc - CS 74205 - 35042 Rennes Cedex, France

⁸ Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image (LTSI) – Inserm, Université de Rennes 1 – Campus Universitaire de Beaulieu - Bât 22 - 35042 Rennes, France

Introduction. De nombreuses méthodes de génération de pseudo-CT (pCT) à partir d'IRM ont récemment été développées pour le calcul de dose en radiothérapie. L'objectif de cette étude a été de comparer une méthode originale basée sur l'utilisation de patches (PBM : patch-based method) avec une méthode atlas (ABM : atlas-based method) et une méthode d'assignation de densité (BDM : bulk density method).

Méthodes. Trente-neuf patients ayant reçu un traitement VMAT pour un cancer de la prostate (78 Gy, 2 Gy par séance) ont été considérés. Pour chaque patient, une IRM pondérée en T2 a été acquise en supplément du scanner de planification (CTref). A partir des IRM, des pCT ont été générés par trois méthodes : une PBM, une ABM1 et une BDM (trois classes de densité : air, tissus mous et os). La PBM, basée sur du machine learning, a été entraînée sur une cohorte de 25 patients. Les méthodes ont été comparées en termes d'image et de dose dans une cohorte de 14 patients. Les critères images ont été l'erreur absolue moyenne (MAE : mean absolute error) et l'erreur moyenne (ME : mean error) en calculant les différences d'unités Hounsfield (HU) voxel à voxel entre les pCT et les CTref. Les critères dosimétriques étaient les moyennes des écarts absolus entre les HDV obtenus depuis les pCT et les CTref, pour le PTV et les organes à risques (rectum et vessie). Des analyses gamma en 3D (locale, 1%/1mm, seuil = 30 %) ont également été réalisées. Des tests de Wilcoxon ont été effectués pour évaluer la significativité des résultats (p-value < 0,05).

Résultats. Une MAE de 41,1 HU et une ME de -1,1 HU ont été obtenues pour la PBM. Ces valeurs sont significativement plus faibles que celles de l'ABM (43,8 HU et -7,8 HU) et de la

*Intervenant

BDM (98,7 HU et -17,8 HU). Pour la PBM, les différences moyennes d'HDV étaient de 0,7% pour la V95% du PTV, 0,5 % pour la V70Gy du rectum et 0,2% pour la V50Gy de la vessie (exemple Figure 1). La PBM a montré des différences d'HDV significatives (pCT *versus* CTref) : pour le PTV (de 70 à 78 Gy), le rectum (de 8,5 à 29 Gy, de 40 à 48 Gy, et de 61 à 73 Gy) et la vessie (de 12 à 78 Gy). Ces différences étaient plus faibles que celles obtenues par l'ABM et la BDM. Les taux de passe gamma étaient significativement plus élevées pour la PBM (99,5 %) que pour l'ABM (94,9 %) et la BDM (96,1 %).

Conclusions. Dans le but de calculer une dose sur un pCT généré à partir d'IRM, la PBM proposée a fourni de faibles écarts dosimétriques (inférieurs à 1 %). Les écarts dosimétriques se sont révélés significativement plus faibles que ceux obtenus avec les ABM et BDM.

References

1. Dowling, J. A. *et al.* Automatic Substitute Computed Tomography Generation and Contouring for Magnetic Resonance Imaging (MRI)-Alone External Beam Radiation Therapy From Standard MRI Sequences. IJROBP (2015).

Mots-Clés: radiothérapie, planification, IRM, pseudo, CT

Apport de la dosimétrie de transit (EPID-based) et calcul de dose a posteriori dans l'anatomie réelle du patient (kV-CBCT-based) pour l'estimation de la dose délivrée au patient (Etude préliminaire)

Robin Sauvinet ^{*† 1}, Clément Chevillard^{‡ 1,2}, François Husson ², Noëlle Pierrat ¹, Jean-Luc Dumas ¹

¹ Service de Physique Médicale, Institut Curie, Paris – Institut Curie, Institut Curie – 25 rue d'Ulm
75005 Paris, France

² R&D Physique Médicale, Cachan – DOSIsoft – 45 Avenue Carnot 94230 Cachan, France

Introduction. Au cours d'une séance de radiothérapie externe photons, la dosimétrie de transit réalisée avec le système d'imagerie portale électronique (EPID) permet d'enregistrer une empreinte du faisceau d'irradiation en traversée du patient pour la détection d'écarts entre dose prédite et dose délivrée. Ces déviations sont le plus souvent dues à un mauvais positionnement ou à des changements anatomiques du patient. Le système d'imagerie RX embarquée fournit une imagerie 3D du patient (kV-CBCT). Malgré une qualité image inférieure à celle du CT de planification (pCT), l'examen kV-CBCT apporte des données sur l'anatomie et le positionnement du patient au moment de la séance. Il est tentant d'utiliser ces données à des fins de *re-calcul* dans le système de planification (TPS). L'objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel de l'apport conjoint de la dosimétrie de transit et du calcul de dose *a posteriori* effectué dans l'anatomie du kV-CBCT du jour.

Méthodes. L'étude concerne des plans de traitement sein en technique RapidArc (RX 6MV) sur une machine TrueBeamTM (Varian MS, Palo Alto, CA, USA). Pour les séances observées, un kV-CBCT a été réalisé avant irradiation et les images EPID acquises pour la dosimétrie de transit (mode cinéma). Une image cumulée sur la longueur de l'arc est reconstruite en termes de dose à partir de la séquence cinéma, elle est ensuite confrontée à une image calculée au niveau de l'EPID, à partir du RT-plan, dans les mêmes termes de dose et conditions de transmission. La comparaison des images est réalisée en utilisant des cartographies g-index (5%/4mm ; seuil 40% ; global) et la valeur d'agrément GAI (%). Le calcul de dose 3D *a posteriori* a été effectué en utilisant le TPS Eclipse (Varian MS) avec l'algorithme PK-AAA sur le pCT corrigé à partir des informations anatomiques du kV-CBCT par recalage élastique (ISOgray-DOSIsoft).

Résultats. Sur la cohorte de patientes étudiée, la comparaison images en dose prédite/acquise avec les critères g-index conduit majoritairement à des valeurs d'agrément GAI supérieures à

*Intervenant

†Auteur correspondant: sauvinet.robin@gmail.com

‡Auteur correspondant: clement.chevillard@dosisoft.com

90%. L'utilisation du kV-CBCT pour le calcul de dose *a posteriori*, confirme les déviations détectées sur les images en transmission et permet une quantification plus précise des écarts en termes de dose, ou en termes de volumes irradiés. Les écarts en dose relevés sont plus ou moins marqués suivant les patientes, avec comme tendance des écarts plus importants pour les volumes cibles (de l'ordre de 5 à 10%) que pour les organes à risque (de l'ordre de 2 à 5%).

Conclusions. Cette étude préliminaire de complémentarité de la dosimétrie de transit avec l'EPID et du calcul de dose *a posteriori* dans l'anatomie kV-CBCT du jour, montre la pertinence et la cohérence des deux approches. Les déviations détectées par rapport aux conditions de planification en termes de dose délivrée et de volumes à traiter ou à protéger, peuvent être alors plus facilement interprétables et leurs causes mieux identifiées en pratique clinique.

Reconstruction de la dose 3D dans le patient à partir d'images EPID de transit pour des traitements VMAT avec l'accélérateur linéaire TrueBeam

Fouad Younan ^{*† 3,2,1}, Jocelyne Mazurier^{‡ 1}, Ana Rita Barbeiro^{§ 4,5}, Isabelle Berry^{¶ 2,3,6}, Denis Franck^{|| 1}, Xavier Franceries^{** 4,5}

³ UMR 1214 – Université Toulouse III Paul Sabatier – 31059, Toulouse, France

² TONIC (Toulouse NeuroImaging Centre) – INSERM UMR 1214 – 31059, Toulouse, France

¹ Service de Radiothérapie, l'Atrium, Clinique Pasteur – Groupe Oncorad-Garonne – 1, rue de la Petite-vitesse, 31300 Toulouse, France

⁴ UMR 1037 CRCT – Université Toulouse III-Paul Sabatier – F-31000 Toulouse, France, France

⁵ UMR 1037 CRCT – Inserm – F-31000 Toulouse, France

⁶ Department of Nuclear Medicine – CHU Rangueil – 1 Avenue du Professeur Jean Poulhès, 31400, Toulouse, France

Introduction. Avec l'utilisation de techniques complexes en radiothérapie externe, l'EPID (Electronic Portal Imaging Device) est devenu un outil majeur dans le contrôle qualité des traitements. Notre étude consiste à utiliser les images EPID de transit pour reconstruire la distribution de dose 3D dans le patient pour des traitements VMAT avec l'accélérateur linéaire TrueBeam.

Matériels et méthodes. Les images ont été acquises avec l'imageur portal EPID aS1200 embarqué sur la machine TrueBeam (Varian), en mode continu, pour une énergie des faisceaux de 10MV et pour un débit de 600 MU/sec. Toutes les images ont été acquises pour une distance source-détecteur de 150cm. Les images brutes sont automatiquement corrigées du dark-field (DF) et du flood field (FF) par le logiciel d'acquisition des images (Xi, VARIAN).

Après correction des pixels défectueux sur les images de transit, une étape de calibrage a été réalisée pour transformer les niveaux de gris des pixels en dose absorbée dans l'eau via une fonction de réponse. Des kernels de correction ont également été utilisés pour prendre en compte la diffusion dans l'EPID.

La dose est ensuite rétro-projetée dans le patient dans chaque plan parallèle à l'EPID et pour chaque angulation du bras en prenant en compte l'atténuation des faisceaux, la diffusion dans le patient, l'effet de build-up, l'effet de durcissement du faisceau avec la profondeur et la divergence des faisceaux. Enfin, la dose totale a été obtenue en additionnant la dose 3D associée à chaque

*Intervenant

† Auteur correspondant: fouad.younan@inserm.fr

‡ Auteur correspondant: j.mazurier@clinique-pasteur.com

§ Auteur correspondant: rita.peirera@inserm.fr

¶ Auteur correspondant: berry.i@chu-toulouse.fr

|| Auteur correspondant: dfranck@clinique-pasteur.fr

** Auteur correspondant: xavier.franceries@inserm.fr

angulation du bras. La dose 3D reconstruite à partir des images EPID de transit a été comparée à celle calculée par le TPS (Treatment Planning System) avec un indice gamma global de 3% et de 3mm. Notre algorithme a été testé sur 20 plans de traitements de prostate et d'ORL avec la technique VMAT.

Résultats. L'indice gamma global obtenu est supérieur à 97% pour tous les traitements de la prostate et à plus de 96% pour tous les traitements de la tête et du cou.

Conclusion. Nous avons développé et validé un algorithme qui peut être utilisé pour reconstruire in vivo la distribution de dose à partir d'images EPID de transit dans le cas des traitements VMAT.

Mots-Clés: EPID, VMAT, distribution de dose 3D, reconstruction in vivo, dosimétrie de transit

RT - Modèles de calcul

Utilisation de la plate-forme GATE/GEANT4 en curiethérapie à haut débit de dose : Etude dosimétrique d'une source de Cobalt 60.

Ahmed Bannan * ¹

¹ Laboratoire des Sciences et Technologies de la Santé – Université Hassan 1er Route de Casablanca km 3,5 université Hassan 1er BP 555 Settat, Maroc

**Utilisation de la plate-forme GATE/GEANT4 en curiethérapie à haut débit de dose :
Etude dosimétrique d'une source de Cobalt 60.**

A. Bannan * a, R. El Baydaoui a, M. R. Mesradi, E. Saad a, A. Hilali a

a Laboratoire des Sciences et Technologies de la Santé, Institut Supérieur des Sciences de la Santé (ISSS) Université

Hassan 1er /Settat/Maroc

*Corresponding author: ahmedbannan92@gmail.com

Introduction. La plate-forme de simulation Monte-Carlo GATE/GEANT4, offre un outil performant pour les applications dosimétriques en curiethérapie¹. Ce travail a pour but d'utiliser cette plateforme pour étudier les paramètres dosimétriques d'une source de Cobalt-60 utilisée en curiethérapie à haut débit de dose (HDR).

Méthodes. Dans ce travail une source de cobalt 60 (modèle Co0-A86 de *Eckert & Ziegler BEBIG*) a été simulée par la plateforme GATE/GEANT4 version 7.2. Dans une première étape, toutes les caractéristiques dosimétriques : constante de débit de dose, *air kerma strength*, *fonction radial de dose et fonction d'anisotropie*, ont été étudiées selon les recommandations du groupe de travail No43 de l'AAPM² (American Association of Physicists in Medicine) et le rapport de AAPM et ESTRO³ (European Society for Radiotherapy & Oncology). Dans une deuxième étape, une simulation des courbes de profil de dose a été effectuée sur différentes axes de la source. Par ailleurs, nous avons reproduit les résultats de la simulation des profils sur le système de planification de traitement HDRPlus (*Eckert & Ziegler BEBIG*). La comparaison des profils a été faite par l'outil gamma-index⁴.

Résultats. Pour les paramètres du formalisme TG-43, les résultats obtenus montrent une bonne concordance entre la plate-forme GATE/GEANT4 et les études prises comme référence⁵⁻⁶. Pour la comparaison des profils de dose on a obtenu un gamma-index de 100% pour des critères de

*Intervenant

différence de dose de 2% et DTA (Distance-To-Agreement) de 2 mm.

Conclusions. Ce travail montre que la plate-forme de simulation GATE/GEANT4 peut être un outil fiable pour les calculs de distribution de dose en curiethérapie à haut débit de dose (HDR).

Références

1. Sarrut, D. *et al.* A review of the use and potential of the GATE Monte Carlo simulation code for radiation therapy and dosimetry applications. *Med. Phys.* 41, (2014).
2. R. Nath et al., "Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: Recommendations of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 43. American Association of Physicists in Medicine," *Med. Phys.* 22(2), 209–234 (1995).
3. Perez-Calatayud, J. *et al.* Dose calculation for photon-emitting brachytherapy sources with average energy higher than 50 keV: Report of the AAPM and ESTRO. *Med. Phys.* 39, 2904–2929 (2012).
4. Low, D. a., Harms, W. B., Mutic, S. & Purdy, J. a. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. *Med. Phys.* 25, 656–61 (1998).
5. Guerrero, R., Almansa, J. F., Torres, J. & Lallena, A. M. Dosimetric characterization of the ^{60}Co BEBIG Co0.A86 high dose rate brachytherapy source using PENELOPE. *Phys. Medica* 30, 960–967 (2014).
6. Selvam, T. P. & Bhola, S. Technical Note: EGSnrc-based dosimetric study of the BEBIG ^{60}Co HDR brachytherapy sources. *Med. Phys.* 37, 1365–1370 (2010).

Mots-Clés: curiethérapie, GATE, HDR, Cobalt, ^{60}Co , TPS, TG, 43

Entropic model for real-time dose calculation

Gabriele Birindelli ^{*† 1}, Jean-Luc Feugeas ¹, Bruno Dubroca ¹, Jérôme Caron ^{1,2}, Guy Kantor ², Jonathan Page ¹, Teddy Pichard ¹, Vladimir Tikhonchuk ¹, Philippe Nicolai ¹

¹ Centre d'Etudes Lasers Intenses et Applications (CELIA) – Université de Bordeaux (Bordeaux, France), CNRS : UMR5107, CEA – 351 cours de la libération 33405 Talence, France

² Institut Bergonié – Institut Bergonié - CRLCC Bordeaux – 33076 Bordeaux Cedex, France

Introduction. This work proposes a completely new Grid-Based Boltzmann Solver (GBBS) developed for the transport and energy deposition by energetic particles. Its entropic closure and mathematical formulation allow our entropic model to calculate the delivered dose with an accuracy comparable to Monte Carlo (MC) codes with a computational time that is reduced to the order of few seconds without any special processing power requirement.

Methods. In contrast to discrete ordinates angular discretization methods, such as Acuros®, our method is based on a reduced number of moment equations closed with Boltzmann's H-theorem. Keeping a good accuracy of calculations, the algorithm can simulate different treatment techniques such as the external radiotherapy even in presence of magnetic field [1-2] (e.g., MRI-guided radiotherapy), brachytherapy or intra-operative radiation therapy. The first validation step consists in simulating dose distributions in complex numerical phantoms including a large number of heterogeneity shapes such as bone, lung and air. For both brachytherapy and external beam radiotherapy, simulations based on CT scan, using the real phase-space of the source, have been performed. The entropic model is validated by a direct comparison with the reference MC code PENELOPE. *Results.* The code is capable of calculating 3D dose distributions with 1 mm³ voxels without statistical uncertainties in few seconds instead of several minutes like PENELOPE. In brachytherapy applications the dose distributions significantly differ from those calculated with the TG-43 approximations, thanks to its capability to account for inhomogeneities and strong density gradients. Moreover, for both applications the code shows an excellent agreement with PENELOPE within the 1%/1mm gamma-index criterion.

Conclusions. In the comparison with the MC results the excellent accuracy of the model is demonstrated. Thanks to its reduced computational time and its accuracy, this model is a promising candidate to become a real-time dose calculation algorithm.

References

- Birindelli, Gabriele, et al. "High performance modelling of the transport of energetic particles for photon radiotherapy." *Physica Medica: European Journal of Medical Physics* 42

*Intervenant

†Auteur correspondant: gabriele.birindelli@celia.u-bordeaux.fr

(2017): 305-312.

- Page, J., et al. "Introduction of external magnetic fields in entropic moment modelling for radiotherapy." *Physica Medica: European Journal of Medical Physics* 42 (2017): 313-318.

Mots-Clés: Dose calculation algorithms, Heterogeneity correction, Magnetic field correction, Treatment panning systems, Monte Carlo simulation, Radiotherapy

Procédure d'assurance qualité pour évaluer dans la pratique clinique les modifications dosimétriques d'un nouvel algorithme de calcul de dose

Abdulhamid Chaikh ^{*† 1}, Catherine Khamphan ², Robin Garcia ³, Jean-Yves Giraud ⁴, Jarkko Ojala, Juliette Thariat ⁵, Jacques Balosso ⁴

¹ Laboratoire de Physique Corpusculaire de Caen (LPC) – CNRS : UMR1 – Caen, France

² Institut Sainte Catherine, Avignon (ISC) – Institut Sainte Catherine – 250, Chemin de Baigne Pieds CS 80005 84918 AVIGNON CEDEX 9, France

³ Institut Sainte Catherine – Institut Sainte Catherine, Avignon – 250 Chemin de Baigne-Pieds CS80005 84918 AVIGNON cedex9, France

⁴ CHU Grenoble – Université Joseph Fourier - Grenoble 1, CHU Grenoble – Grenoble, France

⁵ Centre Régional de Lutte contre le Cancer François Baclesse (CRLC François Baclesse) – Fédération nationale des Centres de lutte contre le Cancer (FNCLCC) – 3 avenue général Harris14000 Caen, France

Objectifs: des algorithmes de calcul de dose (ACD) de plus en plus avancés sont introduits dans la pratique pour améliorer la précision de la dose. Compte tenu du rôle central du modèle de calcul de dose, l'introduction d'un nouvel algorithme en clinique est un processus critique à gérer avec prudence, car les résultats de la radiothérapie reposent sur la prévisibilité et la précision de ce calcul et des HDV qui en découlent. Nous proposons une méthode d'assurance qualité avec des critères dosimétriques, radiobiologiques (dose uniforme équivalente 'EUD' et valeurs de tolérance), pour évaluer les modifications dosimétriques introduites par un nouvel ACD.

Méthodes : pour comparer différents ACD, toutes les données dosimétriques ont été calculées avec les mêmes images TDM pour même patient. Deux méthodes de normalisation sont utilisées : i) la dose prescrite ; ii) le nombre d'unités de moniteur fixe (UM). Les UM sont extraites de l'ACD de référence pour recalculer la dose avec l'ACD à tester. Le processus comprend 4 étapes : i) dosimétrie incluant les UM, la dose prescrite et les HDV; ii) indice gamma (γ); iii) radiobiologique en utilisant le modèle de l'EUD pour comparer TCP et NTCP; et iv) méthode de simulation statistique (bootstrap) pour évaluer la significativité des différences. Le cas du cancer pulmonaire, qui est plus sensible à ce type de changement, et a été pris comme exemple pour illustrer cette méthode.

Résultats et discussion : la prise en compte des hétérogénéités dans les poumons avec un modèle point kernel, requiert plus d'UM, par rapport à un modèle pencil beam de l'ordre de 5%, $p < 0.05$. Cependant, l'ampleur exacte du changement dosimétrique, entre les modèles anciens et les nouveaux, dépend des types respectifs d'ACD. Les D95% et V95% sont de bons indicateurs dosimétriques pour comparer les algorithmes. Les critères γ (2%/2 mm) ne sont pas toujours satisfaits et dépendant de type de transition. Pour garder les mêmes TCP/NTCP après

*Intervenant

†Auteur correspondant: abdulhamedc@yahoo.com

le changement d'ACD, nous recommandons que l'EUD \geq la dose prescrite pour PTV et l'EUD < 15 Gy pour les poumons sains pour limiter NTCP $\leq 15\%$. En outre, une optimisation devrait être effectuée si (EUD poumons sains > 15 Gy).

Conclusion : La décision médicale concernant l'ajustement de la dose prescrite pourra être discutée, si les critères γ (2%/2 mm) ne sont pas validés. Par exemple, dans le cas des cancers intra-pulmonaires, un ajustement de 5% peut être recommandé pour éviter une augmentation de la NTCP lors du passage d'un modèle pencil beam à un modèle point kernels. Cependant, si les équipes médicales préfèrent garder la même dose prescrite, en profitant ainsi de l'augmentation potentielle de TCP, un choix raisonnable serait d'augmenter les contraintes de protection pour les organes à risques pour limiter le décalage défavorable des NTCP.

Mots-clés: dose uniforme équivalente (EUD), algorithmes de calcul de dose, dose prescrite.

Mots-Clés: dose uniforme équivalente (EUD), algorithmes de calcul de dose, dose prescrite

Optimisation des paramètres du calcul de dose en électrons de l'algorithme eMC

Paul-Alexandre Daviau *¹, Gilles Moliner¹, Berengere Piron¹, Rodolfe Verstraet¹

¹ Service de radiothérapie (CHRU Nîmes) – Hôpital Universitaire Carémeau [Nîmes] – Place du Professeur Robert Debré, 30029 Nîmes, France

Introduction. Les algorithmes de type Monte Carlo modélisent le transport des particules dans la matière avec une grande précision, en tenant compte de tous les phénomènes physiques, ce que ne peuvent faire les algorithmes simples de type Pencil beam. L'algorithme eMC de Varian Medical System présente cette nature stochastique mais nécessite des ressources de calcul importantes. En utilisation clinique, des paramètres peuvent être ajustés par l'utilisateur pour diminuer le temps de calcul au détriment de la précision de la distribution de dose et du nombre d'unité monitrice. Cette étude vise à sélectionner le groupe de paramètres permettant le meilleur compromis.

Méthodes. L'étude combinatoire des paramètres de l'algorithme eMC V13.5.35 portent sur la précision, 1, 2 et 3%, la taille de la grille de calcul, 1.0, 1.5, 2.0 et 2.5 mm et le niveau de lissage du filtre, Low, Medium et Strong, pour les énergies 6, 9, 12 et 16 MeV et les champs de 5, 10 et 15 cm², soit 432 plans de calculs. Les rendements en profondeur et les profils de doses à zref sont comparés aux mesures de référence en cuve à eau par calcul du gamma index. L'exactitude du nombre d'unités monitrices (UM) est aussi évaluée. En complément des champs standards, dix plans de patient avec des plombs personnalisés sont étudiés.

Résultats. Le gamma index 3%/3mm local des rendements en profondeur diminue de 98 à 85% pour les filtres Low à Strong uniquement pour le E6 quel que soit la précision et la grille de calcul. L'analyse avec le critère 2%/2mm confirme la même tendance pour E9 avec une dégradation observable diminuant de 88 % à 72 %. Le gamma index 3%/3mm local des profils de dose est invariant aux effets de la grille de calcul et de la précision. L'analyse avec un gamma index 2%/2mm local montre un effet négatif du filtre Low avec 50 % des résultats sous le seuil de 95% hormis pour le champ de référence de 10 cm². Les écarts entre les UM calculés et mesurés en milieu homogène eau augmente avec les filtres Low à Strong de 0,8 à 3,0 %. La précision de calcul entre 1 et 3 % entraîne des écarts croissants jusqu'à 3,0 %. L'effet de la grille de calcul est invariant. Les analyses des calculs d'unité monitrice avec cache personnalisé montrent que l'utilisation d'une précision de 1 ou 2% pour une grille de calcul de 2 mm et d'un filtre Low entraîne des écarts d'UM inférieur à 1% par rapport à la mesure.

Conclusion. Les paramètres 1%-1mm-Low permettent d'obtenir les résultats les plus précis mais présente un temps de calcul long. Les paramètres 2%-2mm-Low constituent un bon compromis sur la distribution de dose et le calcul d'unité monitrice tout en réduisant le temps de calcul par 20.

*Intervenant

Mots-Clés: eMC, electron, eclipse, TPS, calcul, optimisation, gamma index

Evaluation de l'influence d'un algorithme de correction d'artéfacts sur le calcul de la dose en photon et proton thérapie

Julien Feuilleade ^{*† 1}, Marie Vidal ¹, Sylvie Duarte ¹, Mathieu Gautier ¹,
Claudine Colnard ¹, Cécile Peucelle ¹, Daniel Maneval ¹, Anaïs Gerard ¹,
Joel Herault ¹

¹ Centre Antoine Lacassagne – CRLCC Antoine Lacassagne – 33, avenue de Valombrose, 06189 Nice
cedex 2, France

Introduction. Le Centre Antoine Lacassagne est équipé d'un scanner Discovery CT590 RT de GE Healthcare, doté de l'algorithme Metal Artifact Reduction (MAR) qui permet d'améliorer la qualité de l'image en présence d'implants métalliques par exemple. Cette correction des nombres Hounsfield lors de la reconstruction des images, a potentiellement une influence sur le calcul de la dose à l'intérieur et autour des matériaux de densité élevée. Ce travail évalue l'impact de cette correction sur le calcul de la dose en photon et protonthérapie, et décrit une méthodologie pour optimiser le protocole de correction d'artéfacts en fonction de la modalité de traitement envisagée.

Méthodes. Des fantômes simplifiés contenant des implants métalliques (plombage dentaire et prothèse de hanche en photon thérapie et implants métalliques en titane en protonthérapie) ont été construits. La dose est mesurée à l'aide d'une chambre d'ionisation (cylindrique en photon et plate en protonthérapie) dans les fantômes. Les mesures expérimentales sont ensuite comparées aux doses déterminées par les différents TPS (Isogray (Dosisoft) pour la photonthérapie et Raystation (Raysearch) pour la protonthérapie) selon les différents protocoles : UH obtenus avec l'algorithme MAR, sans l'algorithme MAR et correction manuelle de la densité des artéfacts à une densité proche de celle des tissus environnants.

Résultats. Les premiers résultats montrent qu'il y a une différence entre la dose obtenue avec ou sans MAR et donc qu'en proton thérapie il fallait adopter 2 courbes de calibration différentes. Des mesures plus approfondies sont en cours : mesure de l'épaisseur équivalente eau et de l'impact sur le parcours en 1D et 2D. En photon thérapie, les différences observées n'impactent pas le calcul dosimétrique de façon significative mais jouent un rôle important lors de la phase de contourage.

Conclusion. Ce travail propose une méthodologie qui permet d'optimiser la correction d'artéfacts en fonction de la localisation à traiter et de la modalité de traitement.

Mots-Clés: scanner, artefacts, algorithme de reconstruction, calcul de la dose

*Intervenant

†Auteur correspondant: julien.feuilleade@nice.unicancer.fr

Utilisation de GATE/Geant4 pour la distribution de dose absorbée de faisceaux d'électrons en radiothérapie externe

Jeremy Leste *¹, Julia Nalis², Tony Youness¹, Maxime Chauvin¹, Laure Vieillevigine^{1,3}, Manuel Bardiès¹, Xavier Franceries^{1,4}, Régis Ferrand³, Luc Simon^{1,3}

¹ Inserm, UMR1037 CRCT (CRCT) – Université Paul Sabatier (UPS) - Toulouse III, Inserm : U1037 – F-31000 Toulouse, France, France

² Centre Hospitalier de DAX (CH DAX) – centre hospitalier de DAX – Boulevard Yves du Manoir, 40100 Dax, France

³ IUCT - ONCOPOLE – CHU Toulouse – 1 Av. Irène Joliot-Curie 31100 Toulouse, France

⁴ Université Paul Sabatier-Toulouse III, UMR1037 CRCT (UPS) – Université Paul Sabatier (UPS) - Toulouse III, UMR1037 – F-31000 Toulouse, France, France

Introduction. Les limites des systèmes de planification de traitement (TPS) pour le calcul de dose en radiothérapie externe (RTE) ont été largement étudiées pour les faisceaux de photons. Pour les faisceaux d'électrons, les études sont plus rares. L'implémentation d'eMC (Varian, Palo Alto, CA) utilisé en clinique pour la distribution de dose de faisceaux d'électrons est basée sur une technique avancée de réduction de variance, Macro Monte Carlo¹. Les résultats de l'algorithme sont limités dans les cas complexes (hétérogénéités, surfaces irrégulières). Un modèle complet d'accélérateur TrueBeam (Varian) est implémenté avec la plateforme GATE/GEANT4. Nous proposons ici de confronter ces deux algorithmes à des mesures sur films afin d'en évaluer les performances respectives.

Méthodes. Une validation du modèle GATE est tout d'abord réalisée dans un fantôme homogène (eau) en comparant les rendements en profondeur (RP) et les profils transverses (PT) de dose calculés à des mesures expérimentales (6 et 9 MeV). Pour des cas plus complexes incluant des hétérogénéités (os et poumon) et des irrégularités de surface (marche) les distributions d'eMC et de GATE sont comparées à des mesures sur films Gafchromic EBT3 (Ashland ISP, Wayne, NJ). En particulier, après normalisation dans une région homogène (eau), le Gamma Index Pass Rate 1D (GIPR) est évalué pour comparer les profils de doses pour deux profondeurs (au contact et à distance de l'hétérogénéité).

Résultats. Entre GATE et les mesures dans le fantôme homogène, pour les énergies 6 et 9 MeV, le GIPR2%/2mm vaut 100% pour les RP et les PT. De même le GIPR3%/3mm (seuil > 10% Dmax) pour toutes les configurations complexes (os, poumon, marche) est systématiquement supérieur à 98.5% excepté pour un cas (au contact de l'hétérogénéité poumon, à 6 MeV : 82,9%). En revanche pour eMC, dans le cas du poumon, les GIPR sont de 100% à 9 MeV mais seulement de 65,6% et 84,4% respectivement au contact et à 10 mm de l'interface à 6 MeV. En présence d'os les GIPR sont de 100% (6, 9 MeV) excepté au contact de l'hétérogénéité à 9 MeV (69.7%). Pour les irrégularités de surfaces eMC présente un GIPR supérieurs à 95,2% et 99,2%

*Intervenant

à 6 et 9 MeV respectivement.

Conclusions. Le modèle GATE pour la distribution de faisceaux d'électrons est validé dans un fantôme homogène. En présence d'irrégularités (marche), des résultats satisfaisants sont obtenus avec GATE et eMC. En revanche en présence d'hétérogénéités et en particulier après le poumon (6 MeV) ou l'os (9 MeV), eMC s'écarte de la mesure alors que GATE y reste fidèle dans pratiquement toutes les configurations. L'étude est poursuivie pour d'autres énergies (12 et 18 MeV) ainsi que pour des cas cliniques complexes (nez). GATE pourrait être proposé comme double calcul 3D des faisceaux complexes d'électrons.

References

1. Neunschwander, H., MacKie, T. R. & Reckwerdt, P. J. MMC-a high-performance Monte Carlo code for electron beam treatment planning. *Phys. Med. Biol.* 40, 543-574 (1995).

Mots-Clés: Electron, Monte Carlo

Automatisation de la vérification de plans VMAT cliniques avec PRIMO

Alain Sottiaux ^{*† 1}, Miguel Rodriguez , Valérie Baltieri ¹, Anne Monseux ¹,
Cédric Leclercq ¹, Didier Vanache , Milan Tomsej ²

¹ CHU de Charleroi – 706 route de Gozée 6110 Montigny le Tilleul, Belgique

² CHU Charleroi (CHU Charleroi) – Charleroi, Belgique

Introduction. Avec la version 0.3.1, PRIMO permet de facilement calculer des plans cliniques VMAT par Monte Carlo. Des récentes améliorations dans des versions beta ouvrent des perspectives très prometteuses pour une automatisation complète des calculs avec PRIMO.

Méthodes. Nous avons exploité 2 fonctionnalités récemment ajoutées à PRIMO dans les dernières version beta. La première est le mode " macro " qui permet d'effectuer à partir d'un fichier de commande très simple toutes les opérations nécessaires à démarrer une simulation d'un plan clinique VMAT (importation du CT, des contours, du plan, choix du phase space, choix des paramètres de simulation et démarrage de cette simulation et même analyse gamma). Ce sont les mêmes actions que celles habituellement effectuées avec l'interface graphique de PRIMO. La seconde est la possibilité de créer/ouvrir un projet PRIMO (et démarrer un fichier macro) à partir de la ligne de commande.

Nous avons développé un script Python qui surveille un répertoire de fichier. Dès qu'un ensemble de fichier DICOM est déposé dans ce répertoire, PRIMO est démarré par ce script, en spécifiant un fichier macro prédéfini (et automatiquement adapté au plan à simuler). Le phase space est choisi en fonction du linac et de l'énergie.

Résultats. Nous avons développé un prototype capable de simuler un plan VMAT par Monte Carlo avec PRIMO de manière entièrement automatique, basé sur les dernières fonctionnalités de PRIMO. Il suffit d'exporter des fichiers DICOM (CT, plan, structure et dose) pour obtenir le calcul du plan par PRIMO, y compris l'analyse gamma intégrée à PRIMO.

Les développements en cours concernent un système de file d'attente, ainsi qu'un tableau de bord qui permettra (via une page web) de voir un aperçu des plans vérifiés. L'objectif est d'intégrer ces fonctionnalités à PRIMO

Conclusions. Les derniers développements de PRIMO offrent la perspective d'une vérification entièrement automatisée de plans VMAT par Monte Carlo, avec un effort minimal de configuration.

Mots-Clés: VMAT, PRIMO, Monte Carlo

*Intervenant

†Auteur correspondant: alain.sottiaux@chu-charleroi.be

Calcul de dose de plans VMAT cliniques par Monte Carlo pour un Novalis TrueBeam Stx avec PRIMO

Alain Sottiaux ^{*† 1}, Valérie Baltieri ¹, Anne Monseux ¹, Cédric Leclercq ¹,
Didier Vanache , Flavien Peiffer , Julien Debelle , Milan Tomsej ²

¹ CHU de Charleroi – 706 route de Gozée 6110 Montigny le Tilleul, Belgique

² CHU Charleroi (CHU Charleroi) – Charleroi, Belgique

Introduction. Le but de l'assurance qualité des plans de traitement est de s'assurer que la dose calculée par un TPS correspond à la dose effectivement délivrée au patient par le linac. Avec des techniques complexes comme VMAT, ces contrôles sont à la fois plus importants et plus complexes à mettre en œuvre. On peut séparer ce contrôle en 2 parties : calcul et délivrance de la dose. En ce qui concerne le calcul de dose, les méthodes Monte Carlo sont considérées comme le " golden standard ".

Méthodes. Nous utilisons PRIMO (combinaison du code Monte Carlo PENELOPE, de la géométrie de linacs, y compris leur MLC, et interface graphique) pour calculer des plans VMAT, pour un TrueBeam. Grâce principalement à l'inclusion de la géométrie de linacs, PRIMO est un outil intéressant pour des simulations Monte Carlo dans un environnement clinique. La version 0.1.5 ne permet officiellement pas de calculer des plans VMAT. A l'aides de scripts additionnels, nous avons pu effectuer des calculs Monte Carlo pour des plans VMAT cliniques, sur CT, pour un TrueBeam. La version 0.3.1 de PRIMO permet le calcul de plans VMAT de manière très simple. Toutefois, cette dernière version n'intègre plus les linacs Elekta.

Nous avons comparé le calcul de dose de Eclipse (Acuros 13.7) avec PRIMO. Comme la géométrie pour la production de faisceau du TrueBeam n'est pas connue, nous utilisons les " phase space " fournis par Varian. PRIMO 0.3.1 intègre un second code Monte Carlo (DPM), optimisé pour la radiothérapie mais moins précis dans l'air.

Résultats. Pour PRIMO 0.3.1 nous avons comparé la dose de 11 plans cliniques. L'index gamma 3D (2%/2mm) est supérieurs à 95% dans tous les cas. Pour 2 cas " poumons ", il a été nécessaire d'utiliser PENELOPE plutôt que DPM. Le temps de calcul varie entre 20 et 60 minutes avec DPM (en fonction de la taille du volume irradié), et 6 fois plus avec PENELOPE (station de travail avec 24 cœurs). L'incertitude statistique (2 sigma) est de l'ordre de 2.5%. La différence pour la dose médiane au PTV est inférieure à 1%.

Nous avons calculé avec succès des plans SRS de iPlan.

Conclusions. PRIMO est un outil valide pour le calcul de plans VMAT cliniques, pour un TrueBeam. Il est particulièrement adapté à l'utilisation dans un environnement clinique.

*Intervenant

†Auteur correspondant: alain.sottiaux@chu-charleroi.be

Mots-Clés: Monte Carlo, VMAT, PRIMO

Modélisation de la réponse de l'EPID d'un TrueBeam STx par Monte Carlo

Alain Sottiaux *¹, Artur Latorre , Josep Sempau , Valérie Baltieri¹, Anne Monseux¹, Cédric Leclercq¹, Didier Vanache , Milan Tomsej²

¹ CHU de Charleroi – 706 route de Gozée 6110 Montigny le Tilleul, Belgique

² CHU Charleroi (CHU Charleroi) – Charleroi, Belgique

Introduction. La dosimétrie portale est un outil pratique pour le contrôle de qualité de plans VMAT sur un TrueBeam STx. Par contre, elle ne permet pas de vérifier la rotation correcte du gantry. La modélisation par Monte Carlo de la réponse de l'EPID offre une alternative à l'algorithme PDIP d'Eclipse (prédiction de dosimétrie portale). Cela ouvre aussi d'autres perspectives, comme la prédiction de la réponse avec un fantôme ou un patient. Le travail préliminaire se concentre sur l'ajustement de PSF (point spread function), et la vérification par rapport à des mesures.

Méthodes. Comme il n'est pas possible d'irradier l'imageur avec un faisceau très étroit ($< 1\text{mm}$) pour mesurer directement les PSF, nous avons mesuré la réponse pour un bord, afin d'obtenir l'ESF (edge spread function). Nous avons testé plusieurs dispositifs expérimentaux, en fermant à chaque fois une moitié du faisceau (dans le but d'atteindre la transition la plus nette entre la partie ouverte et fermée) : MLC, mâchoires et bloc métallique.

La simulation Monte Carlo de la réponse de l'EPID est calculée avec PenEasy.

Un " phase space " à la sortie du collimateur peut facilement être calculé avec PRIMO. Ce phase space peut ensuite être utilisé par PenEasy (en incluant le PSF), avec des objets simples dans le trajet du faisceau.

Résultats. La transition la plus raide entre la partie ouverte et fermée du faisceau est obtenue avec un bloc métallique au-dessus de l'imageur portal. A. Latorre a montré que le meilleur ajustement aux données expérimentales est obtenu avec une fonction Lorentzienne modifiée (FWHM=0.74mm). Ce modèle s'ajuste bien à la partie la plus raide de la pénombre. Des déviations faibles ($< 2\%$) sont observées dans les premiers 20mm dans la partie ouverte du faisceau. Des déviations plus grandes ($> 5\%$) sont observées au-delà. Ce modèle ne s'ajuste pas correctement sous la partie fermée du faisceau, probablement à cause de la transmission/diffusion du bloc.

Le travail en cours consiste à simuler la réponse de l'imageur portal avec des blocs de PMMA de formes simples.

Conclusions. Les simulations Monte Carlo (en combinant PRIMO, PenEasy et ajustement sur des données expérimentales) offre la perspective de prédire la réponse de l'EPID d'un TrueBeam Tx. Elles peuvent être utilisées comme simple alternative à l'algorithme PDIP d'Eclipse. La combinaison avec un fantôme anisotrope pourrait rendre la dosimétrie portale sensible à la rota-

*Intervenant

tion de gantry. Son utilisation in-vivo pourrait permettre de vérifier la position du patient par rapport à celle utilisée dans le TPS.

Mots-Clés: Monte Carlo, PRIMO, dosimétrie portale

Impact de l'utilisation d'Acuros XB dans le traitement des cancers du poumon pour des fractionnements classiques et en hypofractionnement

Marine Stadler ^{*† 1}, Laure Vieillevigine^{‡ 1,2}

¹ Institut Claudius Regaud (ICR) – Institut Universitaire du Cancer de Toulouse – 1 avenue Irène Joliot Curie, 31059 Toulouse Cedex 9, France

² Centre de Recherche et de Cancérologie de Toulouse, UMR1037 INSERM (CRCT) – Université Toulouse 3 – ERL5294 CNRS – 2 avenue Hubert Curien, Oncopole de Toulouse, 31037 Toulouse Cedex 1, France

Introduction. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact dosimétrique du passage de l'algorithme Anisotropic Analytical (AAA) à l'algorithme Acuros XB (AXB) dans le traitement des cancers du poumon pour des fractionnements classiques et hypofractionnés en utilisant les techniques VMAT et d'arcthérapie dynamique en conditions stéréotaxiques (DCA).

Méthode. L'étude a été effectuée sur des traitements en VMAT et en DCA planifiés dans le TPS Eclipse (v.13.7). Douze patients traités en VMAT, recevant 66Gy (2Gy/fraction) prescrit sur la dose médiane du PTV ont été choisis. Les plans ont été calculés avec AXB (v.13.7.14) en conservant la balistique, l'optimisation et le nombre d'unités moniteurs (UM) estimés initialement par le AAA (v.13.7.14). Ils ont ensuite été optimisés avec AXB. Pour les traitements en DCA, deux séries de cinq patients avec une prescription de 3x18Gy (resp. 5x11Gy) sur l'isodose 80% pour traiter des tumeurs périphériques (TP) (resp. centrales (TC)) ont été choisies. Les plans ont été calculés avec AXB selon la balistique et le nombre d'UM délivrés par le AAA. Les deux modes de calculs proposés par AXB, la dose dans le milieu (AXB-Dm) et la dose dans l'eau (AXB-Dw), ont été étudiés. Pour chacune des techniques et chacun des plans, les écarts relatifs par rapport au AAA sur la dose délivrée avec AXB sur l'ITV, le PTV et les organes à risques (poumons, cœur, moelle) ont été estimés.

Résultats. En VMAT, la dose délivrée au PTV en calculant avec AXB-Dm présente un sous dosage moyen de 0,9% sur la D95% et de 1% sur la D50%. Aucun écart significatif n'a été relevé sur les doses aux poumons (doses moyennes et V20Gy) entre les deux algorithmes. Avec AXB, les doses délivrées au cœur et à la moelle sont diminuées en moyenne de 2 à 3%. En DCA, la couverture au PTV en calculant avec AXB-Dm est diminuée en moyenne de 5,4% sur la D95% pour les TP et de 3,8% pour les TC. L'écart observé sur la V20Gy des poumons sains est diminué de 2,6% en moyenne pour les TP alors qu'il est quasi nul sur les TC. La dose maximale délivrée à la moelle (+ 3mm) et la dose au cœur (D1cm3) sont réduites pour les deux types de tumeurs avec AXB. Pour les deux techniques, les calculs réalisés avec AXB-Dw proposent des résultats

*Intervenant

†Auteur correspondant: Stadler.Marine@iuct-oncopole.fr

‡Auteur correspondant: Vieillevigine.Laure@iuct-oncopole.fr

similaires.

Conclusion. Les premiers résultats de cette étude semblent indiquer que le passage à l'algorithme AXB impacte plus fortement les traitements en DCA qu'en VMAT : les rôles du mode prescription et de la taille de champ restent à approfondir. De manière attendue, le AAA a tendance à surestimer les doses dans les hétérogénéités de basse densité et aux interfaces tissu-air. Les effets de ce changement d'algorithme doivent être également évalués sur les contrôles de qualité prétraitement des patients.

Comparaisons d’algorithmes de calcul de dose en milieu hétérogène à l’aide de plans d’expérience

Maëva Vangvichith *¹, Damien Autret¹, Maryline Posnic¹, Teodor Tiplica², Mihaela Barreau², Stephane Dufreneix¹

¹ Institut de Cancérologie de l’Ouest - Site Paul Papin (ICO Angers) – Département de physique médicale – 15 rue Boquel, 49055 Angers Cedex 02, France

² Laboratoire Angevin de Recherche en Ingénierie de Systèmes – Institut des Sciences et Techniques de l’Ingénieur d’Angers – 62 Avenue Notre Dame du Lac, 49000 Angers, France

Introduction. Cette étude compare les performances de différents algorithmes de calcul de dose en présence d’hétérogénéités. Puis, l’impact du choix de l’algorithme sur des cas cliniques est étudié pour les cas thoraciques, en radiothérapie conformationnelle 3D (RC3D).

Méthodes. (1) Une étude sur le fantôme Thorax CIRS a été réalisée en comparant les distributions de dose 2D mesurées par film Gafchromic EBT3® et celles calculées par les algorithmes AAA [Analytical Anisotropic Algorithm v13, Varian], AXB [Acuros XB v13.7, Varian], PB [Pencil Beam v4.5.5, Brainlab], MC [Monte Carlo v4.5.5, Brainlab] et CCV [Collapsed Cone Volume v2.0.1, Mobius Medical System]. Les performances de ces différents algorithmes ont été testées à l’aide d’un plan d’expérience (PEX) de Taguchi L18, permettant en 18 essais d’étudier l’influence des facteurs suivants : énergie, angle du collimateur, angle de bras, tailles de champ en X et en Y. Une comparaison par soustraction des distributions de doses 2D entre les mesures par film et celles calculées a été réalisée pour les 18 essais. (2) L’impact du choix de l’algorithme a été étudié sur des plans de traitement initialement calculés avec l’AAA, sur un ensemble de 15 patients atteints d’un cancer thoracique en RC3D. En conservant le même nombre UM, ces plans de traitement ont été recalculés en AXB puis comparés en évaluant la couverture de l’isodose 95% sur le PTV, un indice de conformité, les doses au PTV et aux organes à risque. Si nécessaire, la planimétrie a été reprise en AXB (pondération, filtre, point de normalisation) dans le but de valider le plan de traitement cliniquement.

Résultats. (1) En milieu hétérogène, les écarts de dose moyens entre les doses mesurées et calculées sont, respectivement, pour l’AXB, l’AAA, le CCV, le MC et le PB de : 0.0 +/- 1.8%, 1.2 +/- 2.2%, -0.1 +/- 2.0%, 1.2 +/- 1.9% et 7.0 +/- 4.1%. (2) En comparant les plans de traitement (même nombre UM), un écart moyen de dose de -1.2% au niveau de la couverture du PTV à 95% et un changement d’indice de conformité de 1.10 (AAA) à 0.76 (AXB) sont obtenus, attestant d’une moins bonne couverture du PTV avec AXB, liée à la différence de prise en compte des hétérogénéités. Une fois ces plans de traitement modifiés, ils permettent l’obtention d’une planimétrie semblable à celle validée cliniquement, avec un écart moyen d’UM supérieur de l’ordre de 1.5% par rapport aux plans calculés en AAA.

Conclusions. Les algorithmes montrant les meilleures performances sont le MC et l’AXB. Le

*Intervenant

PEX permet en 18 essais d'étudier les performances des algorithmes entre-eux, sur des facteurs limités en nombre et en valeur. L'utilisation du PEX met en lumière une moins bonne modélisation des petits champs. En ce qui concerne l'étude dosimétrique, l'AXB peut être utilisé pour le traitement des cancers thoraciques en RC3D. Une étude complémentaire pour la même localisation est en cours de réalisation pour la technique de traitement VMAT.

Evaluation of the absorbed dose reporting mode of the AAA and AXB algorithms and the Monte-Carlo code GATE in high and low density media

Tony Younes *^{1,2,3}, Alexia Delbaere¹, Maxime Chauvin², Luc Simon^{1,2},
Georges Fares³, Laure Vieilleveigne^{2,1}

¹ Institut Claudius Regaud - Institut Universitaire du Cancer de Toulouse Oncopole – CRLCC Institut Claudius Regaud, IUCT Oncopole – 1 avenue Irène Joliot Curie, 31059 Toulouse Cedex 9, France

² Centre de Recherche et de Cancérologie de Toulouse, UMR1037 INSERM - Université Toulouse 3 – ERL5294 CNRS – CRCT toulouse – 2 avenue Hubert Curien, Oncopole de Toulouse, 31037 Toulouse Cedex 1, France

³ Université Saint-Joseph de Beyrouth, Faculté des sciences, Campus des sciences et technologies – Mar Roukos - Dekwaneh, Liban

Introduction. The aim of our study was to investigate the dosimetric accuracy of Analytical Anisotropic Algorithm (AAA) and Acuros XB (AXB) with the two absorbed dose reporting options dose-to-medium (Dm) and dose-to-water (Dw). The calculations were carried out for small multi-leaf collimator (MLC) fields in heterogeneous media against Monte Carlo (MC) simulations and EBT3 radiochromic films measurements. The well-known approach of Siebers et al [1] used for converting Dm to Dw in MC codes was also investigated.

Methods. Two multilayered slab phantoms were used for this study. These phantoms consisted of soft tissue equivalent material with bone (1.82 g/cm³) or Lung (0.29 g/cm³) slabs. MC calculations were performed using GATE platform and were considered as benchmark for Dm calculations. The AXB Dm calculations were compared to those of GATE Dm with the AXB library elemental compositions on one hand and with the experimental phantoms elemental compositions on the other hand. The results of the AAA, AXB Dw and GATE Dw. were compared against film measurements considered as Dw reference. All calculations and measurements were performed for 6MV photon beams delivered from a Truebeam linear accelerator with a 3×3 cm² nominal MLC field.

Results. The AXB Dm calculations showed excellent agreement with GATE Dm when the calculations were performed with the same elemental compositions. However, an average difference of 2% and 1.6% was found between AXB Dm and GATE Dm with the experimental phantom compositions in Lung and bone, respectively. The GATE Dw and AXB Dw calculations were in agreement with films measurement with an average difference less than 1.5% for the Lung configuration. Conversely, an average differences of 3.1% was found with the AAA results after the lung region. The results of AXB and GATE calculations were significantly different compared to film measurements in the bone region. Differences were up to 10.4% and 7% for AXB Dw and GATE Dw, respectively. These results show that the conversion method used by AXB

*Intervenant

and GATE should be reviewed. Concerning the GATE conversion method, a fluence correction factor should be applied as mentioned by Andreo [2]. This factor was calculated for the studied media and good agreements were found with measurements after applying it.

Conclusions. The AXB was found to be more accurate than the AAA in the low density media. The current methods employed for converting D_m to D_w in AXB and GATE are invalid and should be corrected. Further studies on the calculation of electron spectra and fluence correction factors in different media and for various field sizes are ongoing.

References

1. Siebers J V, et al Converting absorbed dose to medium to absorbed dose to water for Monte Carlo based photon beam dose calculations Phys. Med. Biol. 45 983–95 (2000)
2. Andreo, P. Dose to ‘water-like’ media or dose to tissue in MV photons radiotherapy treatment planning: still a matter of debate. Phys. Med. Biol. 60, 309–337 (2015).

Mots-Clés: Absorbed dose report, Algorithms, Monte Carlo simulations

Comparative study between acuros xb algorithm and anisotropic analytical algorithm in the case of heterogeneity for the treatment of lung cancer.

Mohammed El Adnani Krabch * ^{1,2}, Abdelouahed Chetaine ¹, Abdelati Nourreddine *

¹, Fatima Zohra Erradi *

¹, Laila Baddouh *

1

¹ Nuclear reactor, nuclear security and environment group, Physics Department, Faculty of Sciences, Mohamed V University – Avenue Ibn Batouta, Rabat, Maroc

² Sheikh Khalifa Ibn Zaid Hospital, Department of Radiotherapy – Ave Mohamed Taieb Naciri, Maroc

Introduction. The aim of this study was to investigate the impact of heterogeneity on the dose calculation for two algorithms implemented in the TPS "Analytical Anisotropic Algorithm (AAA) and Acuros XB" and validated the use of Acuros XB algorithm in clinical routine.

Methods. First, we compare the dose calculated by these algorithms and the dose measured at the given point P, which is found after heterogeneity insert. Second, we extend our work on clinical cases that present a complex heterogeneity. By evaluating the impact of the choice of the algorithm on the dose coverage of the tumor, and the dose received by the organs at risk for 20 patients affected by lung cancer.

Results. The result of our phantom study showed a good agreement with several studies that showed the superiority of the Acuros XB over the AAA in predicting dose when it concerns heterogeneous media. The treatment plans for 20 lung cancers were calculated by two algorithms AAA and Acuros XB, the results show a statistical significant difference between algorithms for Homogeneity Index and the maximum dose of planning target volume (HI: 0.11 ± 0.01 vs 0.05 ± 0.01 $p = 0.04$; Dmax: 69.30 ± 3.12 vs 68.51 ± 2.64 $p = 0.02$). Instead, no statistically significant difference was observed for conformity index CI and mean dose (CI: 0.98 ± 0.18 vs 0.99 ± 0.14 $p = 0.33$; Dmean: 66.3 ± 0.65 vs 66.10 ± 0.61 $p = 0.54$). For organs at risk, the maximum dose for spinal cord, mean dose and D37 % of lung minus GTV (dose receiving 37% of lung volume) were found to be lower for AAA plans than Acuros XB and the differences were statistically significant ($p < 0.05$). For the heart D33% and D67% were found to be higher for AAA plans

*Intervenant

than Acuros XB and the differences were statistically significant ($p < 0.05$), but No difference was observed for D100% of the heart.

Conclusions. The use of the AXB algorithm is suitable in the case of presence of heterogeneity, because it allows to have a better accuracy close to the Monte Carlo calculation.

Mots-Clés: Lung Cancer, Analytical Anisotropic Algorithm, Acuros XB, TPS

RT - Nouvelles Technologies

Simulation de la dose biologique produite par des protons de 65 MeV (faisceau clinique) et des ions carbone.

Yasmine Ali * ¹, Michael Beuve ², Adéla Carnicer ³, Eric Debiton ^{4,5},
Françoise Degoul ^{5,4}, Joel Herault ⁶, François Smekens ¹, Lydia Maigne ¹

¹ Université Clermont Auvergne (UCA) – LPC – 4 Avenue Blaise Pascal, 63178 Aubière Cedex, France

² Université Claude Bernard Lyon 1 (UCBL) – IPNL – 4 rue Enrico Fermi, 69622 Villeurbanne Cedex, France

³ Institut Méditerranéen de Protonthérapie, Centre Antoine Lacassagne (CAL) – Cyclotron Biomédical – 227 Avenue de la Lanterne, 06200 Nice Cedex, France

⁴ Université Clermont Auvergne (UCA) – Imagerie Moléculaire et Stratégies Théranostiques – 4 Avenue Blaise Pascal, 63178 Aubière Cedex, France

⁵ Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM) – 1240 – 58 Rue Montalembert, 63005 Clermont-Ferrand Cedex, France

⁶ Institut Méditerranéen de Protonthérapie, Centre Antoine Lacassagne (CAL) – Cyclotron Biomedical – 227 avenue de la Lanterne - 06200 Nice Cedex, France

Introduction. Pour optimiser les traitements en hadronthérapie, il est primordial de prendre en compte la dose absorbée physique ainsi que l'impact biologique des rayonnements sur les structures irradiées. Pour cela est estimée l'efficacité biologique relative (EBR) qui permet d'évaluer la réponse des cellules à un rayonnement étudié. Ici nous nous intéressons à un faisceau clinique de protons de 65 MeV délivré par la ligne MediCyc du centre Antoine Lacassagne à Nice et un rayonnement d'ions carbones délivrés par le Heavy-Ion Medical Accelerator de Chiba (Japon). Pour prédire cette efficacité biologique relative, il existe différents modèles biophysiques intégrés par des codes Monte Carlo dont certains sont déjà utilisés dans les logiciels de planification de traitement [1]. Parmi ces modèles, le modèle microcinétique (MKM) [2] et le modèle NanOx [1] sont testés dans cette étude. Nous proposons d'utiliser la plateforme Monte Carlo GATE à laquelle sont combinés ces modèles pour prédire la dose biologique.

Méthodes. Les courbes de survie cellulaires de différentes lignées, pour des doses allant de 0 à 10 Gy, sont obtenues en utilisant le modèle linéaire quadratique pour un rayonnement de référence (rayons X délivrés par un irradiateur X-Rad320), pour les faisceaux de protons de 65 MeV et d'ions carbone (en mode passif). Tous les faisceaux utilisés pour les irradiations de cellules ont été entièrement simulés avec la plateforme de simulation Monte Carlo GATE 8.0. Les spectres microdosimétriques (ou la distribution d'énergie linéale) ont ensuite été obtenus et combinés aux différents modèles biophysiques.

Résultats. Les différents rendements en profondeurs et pics de Bragg simulés sont validés en termes de dose physique avec les mesures expérimentales réalisées par chambre d'ionisation. Les doses biologiques sont ensuite obtenues avec le modèle MKM et le modèle Nanox et intercomparées.

*Intervenant

Conclusions. Ces travaux ont permis l'intégration et la validation de deux modèles biophysiques d'intérêt dans la plateforme de simulation GATE. Cette validation sera étendue à des faisceaux cliniques en protons et en ions carbone de plus haute énergie.

References

1. Monini, Caterina, Étienne Testa, and Michael Beuve. NanOx Prediction of cell survival probabilities for three cell lines. *Acta Physica Polonica B* **48.10** (2017).
2. Y. Kase et al., Microdosimetric calculation of relative biological effectiveness for design of therapeutic proton beams. *Journal of Radiation Research*, **54**. 485–493 (2013).

Mots-Clés: biophysical model, microkinetic model, relative biological effectiveness, gate

Recette et caractéristiques dosimétriques du nouvel accélérateur linéaire halcyon (varian)

Vivien Bernard *¹, Souad Fafi¹, Daniel Nguyen¹, Mustapha Khodri¹

¹ Clinique Charcot, Groupe ORLAM (ORLAM) – Groupe ORLAM – 53 Rue Commandant Charcot, 69110 Sainte-Foy-lès-Lyon, France

Introduction. L'accélérateur linéaire de dernière génération Halcyon (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA) a été installé à la clinique Charcot à Sainte-Foy-Lès-Lyon. Il s'agit du premier Halcyon installé en France. La tête de l'accélérateur est montée sur un anneau. Elle se caractérise par l'absence de mâchoires et, pour chaque banc, par un double MLC (proximal et distal) de 29 et 28 lames de largeur 1cm à l'isocentre et décalés de 5mm afin de minimiser la transmission. La vitesse maximale des lames est de 5cm/sec. La taille de champ maximale est de 28x28cm². L'Halcyon dispose d'une énergie unique de 6XFFF d'un débit de dose maximal de 800UM/min.

L'imageur de taille 43x43cm² est fixe et situé à 154cm de la source et de résolution à l'isocentre 0.22mm. Dans la version actuelle, cet accélérateur dispose uniquement d'une imagerie MV (MV/MV ou MV CBCT). La dose due à l'imagerie est calculée par le TPS Eclipse et prise en compte dans l'optimiseur. Les données de modélisation du faisceau de l'Halcyon sont préconfigurées dans le TPS Eclipse.

Méthodes. L'ensemble des données préconfigurées dans le TPS Eclipse a été mesuré dans une grande cuve à eau Blue Phantom2 (IBA) en utilisant les détecteurs CC13 (IBA), EDGE (Sun-Nuclear) et Farmer (PTW) conformément à celles effectuées par Varian. Ces mesures de courbes de rendement en profondeur, profils, profils diagonaux, FOC, facteur de transmission et DLG ont été comparées à celles préconfigurées. La dose calculée par le TPS avec l'algorithme AAA pour les rendements en profondeur, profils et profils diagonaux a été comparée à nos mesures en utilisant les critères et tolérances données dans le rapport n°27 SFPM. Des contrôles End-to-End et RapidArc commissioning ont été réalisés.

Résultats. Une très bonne superposition des données Varian avec nos mesures est observée pour l'ensemble des données. Les différences observées les plus importantes sont pour le profil 2x2cm². Les différences moyennes et maximales pour les FOC sont respectivement de -0.03% et 0.71%. La valeur de transmission mesurée à travers les deux niveaux du MLC est de 0.005%. L'indice de qualité mesuré (PDD(10) à DSP=100cm) est de 63.5% (tolérance constructeur 63%±1). La profondeur du maximum pour un champ 10x10cm² à DSP=100cm a été mesurée à 1.28cm (tolérance constructeur 1.3cm±0.2). Pour l'ensemble des tailles de champs mesurées 100% des points passent les critères des comparaisons calcul/mesure donnés dans le rapport n°27 SFPM pour les rendements en profondeurs et profils diagonaux. Le diamètre de l'isocentre mesuré à l'aide du fantôme Drum (Varian) est de 0.65mm. Une différence de dose absolue calcul/mesure de 1% à l'isocentre est observée pour le contrôle End-to-End dans le fantôme IMRT Thorax

*Intervenant

Phantom (CIRS) pour un plan clinique.

Conclusions. Une excellente superposition a été observée entre les données fournies par Varian et celles mesurées. Aucune modification du modèle préconfiguré n'a été effectuée.

Mots-Clés: Halcyon, recette, commissioning

Mesure de la dose déposée en utilisant les rayons X issus du bremsstrahlung

Flavien Ralite ^{*†} ¹, Charbel Koumeir ^{*}

², Ferid Haddad ^{*}

^{1,2}, Vincent Metivier ^{*}

¹, Noel Servagent ^{*}

¹, Nicolas Varmenot ^{*}

3,2

¹ Laboratoire de physique subatomique et des technologies associées (SUBATECH) – Université de Nantes, Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules du CNRS, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR6457, IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire – IMT Atlantique - Campus de Nantes - La Chantrerie - 4, rue Alfred Kastler - CS 20722 - 44307 NANTES Cedex 3, France

² GIP ARRONAX – Université de Nantes, IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire, CNRS, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale - INSERM, CHU Nantes, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, Région Pays de Loire, ICO Nantes – 1 Rue Aronnax, 44800 Saint-Herblain, France

³ Institut de cancérologie de l'Ouest - Nantes (ICO Nantes) – CRLCC René Gauducheau – Nantes, France

Introduction. Avec le développement des thérapies par faisceaux d'ions et de protons, des outils de vérification de la dose délivrée au patient sont nécessaires afin d'assurer la précision du traitement. Des méthodes non invasives de mesure de l'énergie déposée existent, reposant sur la technique d'imagerie TEP profitant des radionucléides émetteurs bêta+ créés lors de l'interaction des hadrons avec le milieu (1). Une méthode alternative est à l'étude et présentée dans ce travail. La détection des rayons X (RX) issus du bremsstrahlung émis directement par le milieu (2), est une voie prometteuse pour obtenir tout ou partie de l'énergie déposée. Les résultats obtenus pour des protons de différentes énergies incidentes, et des particules alpha de 70MeV seront présentés. *Méthodes.* Le dispositif expérimental permet l'irradiation d'une cible de PMMA avec des particules alpha et des protons, délivrés par le cyclotron ARRONAX (énergie < 70MeV). La détection des RX du bremsstrahlung est assurée par un détecteur silicium. Un modèle théorique qui prend en compte les différentes contributions du bremsstrahlung (3) a été développé pour modéliser le

*Intervenant

†Auteur correspondant: flavien.ralite@subatech.in2p3.fr

spectre RX émis.

Résultats. La première expérience, concernant les particules alpha de 68MeV, montre un bon accord entre le spectre RX expérimental et le spectre théorique. Le nombre de RX détectés pour un gray reçu dans le milieu est de 1060 ± 140 . L'incertitude inclut l'efficacité de détection, les fluctuations statistiques de comptage et les incertitudes sur la mesure du nombre de particules incidentes. Le spectre simulé indique un nombre de 970 RX/Gy. Ainsi le nombre de RX détectés par gray, démontre une bonne sensibilité. Ces résultats encourageant nous ont poussés à réaliser des expériences utilisant des faisceaux de protons de différentes énergies. Les analyses sont en cours et les résultats seront aussi présentés.

Conclusions. Ce travail présente une méthode alternative, en-ligne, non-invasive basée sur la mesure des RX du bremsstrahlung émis lors de l'interaction d'un faisceau de particules avec la matière. Une preuve de concept a été obtenue pour des particules alpha de 68MeV. Les faisceaux de protons disposant d'énergies de 17 à 70MeV sont à l'étude. L'objectif est d'évaluer la sensibilité de la méthode, en vue d'utiliser le bremsstrahlung pour monitorer le faisceau et/ou la dose déposée à des énergies proches de celles utilisées en protonthérapie et hadronthérapie.

Références

1. V. Ferrero et al, Online proton therapy monitoring: clinical test of a Silicon-photodetector-based in-beam PET, Scientific Reports, 8, (2018)
2. M. Yamaguchi et al, Secondary-Electron-Bremsstrahlung imaging for proton therapy, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, detectors and Associated Equipment, 833, 199-207, (2016).
3. L. Schwob et al, New beam monitoring tool for radiobiology experiments at the cyclotron Arronax, Radiation Protection Dosimetry, 166(1-4), 257-60, (2015).

Mots-Clés: Bremsstrahlung, Dose en ligne, Noninvasif, Protonthérapie, Hadronthérapie

Irradiation dans un nanosystème moléculaire

Thibaud Salbaing ^{*†}, M Farizon[‡], B Farizon, Linda Feketeova, H Abdoul-Carime, Florent Calvo ¹, Tilmann Märk ²

¹ Laboratoire Interdisciplinaire de Physique (Liphy) – CNRS : UMR5588, Université Joseph Fourier - Grenoble I – Domaine Universitaire 140 Avenue de la Physique - BP 87 38402 Saint Martin d’Hères - FRANCE, France

² University of Innsbruck – University of Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck, Autriche

Introduction. Une des spécificités des rayonnements ionisants est qu’ils interagissent avec les électrons du milieu irradié. Dans un système moléculaire, les électrons sont localisés dans les molécules et l’énergie est initialement déposée sous forme d’excitation d’un électron d’une des molécules. Comprendre et modéliser à l’échelle du nanomètre la manière dont l’énergie déposée irradie au-delà de l’impact initial est un enjeu actuel, notamment dans le contexte des thérapies combinant irradiation et radiosensibilisateurs.

Méthodes. L’originalité du travail consiste à étudier des nanosystèmes moléculaires ” modèles ” pouvant être étudiés à la fois expérimentalement et théoriquement. Ces nanogouttes sont initialement préparées avec un nombre contrôlé de molécules. Elles sont ensuite soumises à un dépôt d’énergie unique localisé dans une des molécules de la nanogoutte puis analysées après relaxation. La méthode combinant spectromètres de masse et techniques d’imagerie permet l’analyse de chaque nanogoutte et cela pour un très grand nombre de nanogouttes¹. Les résultats sont notamment comparés à des calculs statistiques de dynamique moléculaire².

Résultats. La thermalisation des nanogouttes suite à l’excitation électronique soudaine d’une des molécules³ a été observée en fonction du nombre de molécules (2 à 10 typiquement) contenues dans la nanogoutte et pour plusieurs types de nanogouttes : nanogoutte d’eau protonée, nanogoutte d’eau contenant une impureté hydrophobe, nanogoutte de méthanol. Les résultats montrent que l’évaporation d’une molécule intervient avant la thermalisation complète de la nanogoutte avec notamment l’éjection d’une molécule avec une vitesse nettement plus élevée que celle observée après thermalisation. Les mesures sur les nanogouttes de méthanol montre une compétition entre l’évaporation d’une molécule de méthanol et une réaction entre molécules conduisant à l’élimination d’une molécule d’eau.

Conclusions. La possibilité de comparer quantitativement les résultats expérimentaux et les calculs théoriques pour des nanosystèmes moléculaires irradiés en phase gazeuse permet d’établir les bases d’une modélisation robuste des mécanismes d’irradiation à l’échelle du nanomètre.

References

1. Abdoul-Carime, H. *et al.* Velocity of a Molecule Evaporated from a Water Nanodroplet:

*Intervenant

†Auteur correspondant: salbaing@ipnl.in2p3.fr

‡Auteur correspondant:

Maxwell-Boltzmann Statistic versus Non-Ergodic Events. *Angew. Chem. Int. Ed.* **54**, 14685 (2015).

2. Calvo, F. *et al.* Collision-induced evaporation of water clusters and contribution of momentum transfer. *Eur. Phys. J. D.* **71**, 110 (2017)

3. Berthias, F. *et al.* Measurement of the velocity of neutral fragments by the "correlated ion and neutral time of flight" method combined with "velocity-map imaging". *Rev. Sci. Instrum.* **88**, 083101 (2017).

Mots-Clés: Irradiation, nanogoutte, thermalisation

Reference dosimetry for high dose rate pulsed scanned proton beams

Marie Vidal *¹, Anaïs Gerard¹, Vincent Floquet¹, Cécile Peucelle¹,
Séverine Rossomme², Joel Herault¹

¹ Institut Méditerranéen de Protonthérapie, Centre Antoine Lacassagne – CRLCC Antoine Lacassagne
– 227 avenue de la Lanterne - 06200 Nice, France

² Molecular Imaging, Radiotherapy and Oncology, Institute for Experimental and Clinical Research –
Université catholique de Louvain, Brussels, Belgique

Introduction. The newly installed ProteusONE (IBA PT, LLN, Belgium) relies on a superconducting synchro-cyclotron which delivers a pulsed scanned proton beams from 100 MeV to 226 MeV with a dose rate between 2.65 $\mu\text{Gy}/\text{pulse}$ and 230 $\mu\text{Gy}/\text{pulse}$ respectively. Its beam structure of 1kHz frequency and high dose rate per pulse makes it particular considering recombination effect in plane parallel ionization chambers.

Methods. The aim of this work is firstly to characterize the beam monitor ionization chambers response in a pulsed scanned proton beam with a high dose rate per pulse, and secondly to find a proper protocol for reference dosimetry with a plane parallel ionization chamber in this kind of proton beams. Following the TRS398 protocol[1], temperature and pressure (kT,P), polarity effect (kpol), beam quality factor (kQ,Q0) and recombination effect (ks) correction factors were computed and applied to the considered ionization chamber. In particular, for a scanned pulsed proton beam the recombination effect in the ionization chamber is not negligible. Therefore, the recombination factor has been theoretically evaluated with Boag's formulae[2] and measured in water for a plane parallel ionization chamber through saturation curves. The quality beam kQ,Q0 factor evaluation was based on Monte-Carlo Goma's results[3] for PBS proton beams. The assumptions made for a high dose rate per pulse pulsed scanned proton beam based on TRS 398 for 3 energies were validated against water calorimetry[4] measurements for 3 energies.

Results. The recombination factor study shows that plane parallel ionization chamber should be used with -500V voltage to limit the effect of recombination. In the same set-up conditions, water calorimetry and ionometry give less than 2% difference for the 3 mono-energetic beams.

Conclusions. The presented reference dosimetry protocol is validated for clinical high dose rate per pulse pulsed scanned proton beams.

References

1. P. Andreo et al. IAEA Report TRS no398. June 2006
2. J.W. Boag *et al.* Phys Med Biol. 41 885-97. 1996.

*Intervenant

3. C. Gomà *et al.* Phys Med Biol. 61(6):2389-406. 2016.

4. J. Renaud, S. Rossomme *et al.* Phys Med Biol. 61(18):6602-6619. 2016.

Mots-Clés: Reference dosimetry, protontherapy, ionometry, ion recombination

Impression 3D en radiothérapie-curiethérapie : retour d'expérience après 1 an et demi d'utilisation clinique

Laura Wagner *¹, Paul Retif^{1,2}, Philippe Quélin³

¹ Unité de Physique Médicale – CHR Metz – CHR Metz-Thionville, Ars-Laquenexy, 57530, France

² Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN) – Université de Lorraine, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7039 – Université de Lorraine, Campus Sciences, BP 70239, 54506 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France

³ Service de radiothérapie – CHR Metz – CHR Metz-Thionville, Ars-Laquenexy, 57530, France

Introduction. Le service de radiothérapie du CHR Metz-Thionville a fait l'acquisition d'une imprimante 3D en janvier 2017. Depuis son installation, cette dernière est utilisée pour l'impression de bolus, compensateurs, contentions, fantômes et applicateurs de curiethérapie en 3 dimensions. Cette communication constitue une des premières expériences françaises sur l'utilisation de l'impression 3D en radiothérapie.

Méthodes. Après un aperçu des techniques et matériaux d'impression 3D, nous nous proposons de résumer les utilisations possibles de cette technologie en radiothérapie externe et curiethérapie à travers des cas pratiques tirés de l'état de l'art que nous avons réalisé sur le sujet ainsi que de notre propre expérience. Nous proposons également des astuces de prise en main et un retour sur les problèmes rencontrés.

Résultats. L'impression 3D permet de créer une multitude d'objets facilitant la prise en charge des patients en radiothérapie. Grâce à la compatibilité de nombreux matériaux plastiques et une précision de l'ordre du micromètre, elle permet de réaliser des bolus et compensateurs ayant la même géométrie que dans le logiciel de planification de traitement et pouvant être utilisés chaque jour de façon extrêmement reproductible notamment pour des localisations complexes. Elle permet également de designer ses propres contentions, fantômes de mesure et de confectionner des applicateurs personnalisés de curiethérapie. L'investissement initial ainsi que le consommable sont peu coûteux et le système devient rapidement rentable pour les établissements de santé. Les durées d'impression longues nécessitent néanmoins une organisation et un workflow rigoureux pour éviter les retards dans la mise en traitement des patients.

Conclusions. Après un an et demi d'utilisation d'une imprimante 3D dans le service de radiothérapie-curiethérapie nous recommandons vivement la diffusion de cette technologie dont l'ensemble des possibilités reste encore à explorer.

*Intervenant

Mots-Clés: Impression 3D, radiothérapie

RT - IRM

IRM et quantification du fer intracérébral : développement méthodologique de la relaxométrie R2* et de l'imagerie de la susceptibilité magnétique

Samy Chafa *^{1,2}, Patrice Péran²

¹ Institut Universitaire du Cancer de Toulouse - Oncopole, département d'ingénierie et de physique médicale – Université Paul Sabatier - Toulouse 3, CHU Toulouse [Toulouse] – Avenue Irène Joliot-Curie, 31100 Toulouse, France

² Toulouse Neuro Imaging Center (ToNIC) – Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : U1214, Hôpital Purpan - Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Toulouse, Université Toulouse III - Paul Sabatier – CHU PURPAN - Pavillon Baudot - Place du Dr Baylac 31024 TOULOUSE - Cedex 3, France

Introduction. La quantification du fer intracérébral en IRM possède un grand intérêt clinique pour l'étude du vieillissement et des neurodégénérescences. Actuellement, les techniques les plus utilisées sont la relaxométrie R2* et la QSM. Malgré leurs limites en termes de reproductibilité¹, elles sont les mieux adaptées aux contraintes cliniques. Cette étude se propose d'évaluer et d'optimiser la relaxométrie R2* dans le contexte de la quantification du fer.

Méthodes. Le modèle du vieillissement physiologique a été utilisé dans deux structures d'intérêt (le putamen et le thalamus) comme source de modification. Une IRM cérébrale (Intera Achieva 3 Tesla, Philips) a été acquise pour 39 sujets jeunes (29±6ans) et 38 sujets âgés (68±6ans). Pour chaque sujet, des échos de gradient (3D FFE EPI) ont été acquis avec 6 temps d'écho (TE) différents : 6, 12, 20, 30, 45 et 60 ms. Des cartes de R2* utilisant les 6 TE (R2*s) puis les 3 premiers (R2*p) et enfin les 3 derniers (R2*t) ont été réalisées par régression mono-exponentielle non-linéaire voxel-à-voxel.

Résultats. Pour le thalamus, tous sujets confondus, les R2*p et R2*t étaient significativement différents du R2*s. Cela infirme l'hypothèse d'un signal à décroissance strictement mono-exponentielle. Entre les sujets jeunes et âgés une différence significative a été retrouvée pour les R2*s (p=0,025) et R2*p (p=0,001) mais aucune (p=0,38) pour les R2*t. La prise en compte des premiers TE augmente l'hétérogénéité interindividuelle tandis que les R2*t présentent une faible variance entre les sujets. Les mêmes résultats ont été retrouvés pour le putamen.

L'usage de TE tardifs majore les artefacts de susceptibilité magnétique dans les zones proches d'interfaces (comme les sinus). Cet artefact commun à tous les sujets uniformise les différents groupes. Des différences plus prononcées entre les groupes sont observées en utilisant les R2*p. Dans ce cas-là, l'usage des TE courts n'a pas permis la sensibilisation du signal à une quantité spécifique mais l'éviction de l'uniformisation due à l'artefact. Dans les zones distantes de l'artefact, les TE courts sensibilisent le R2* aux composantes rapides du signal comme l'eau liée

*Intervenant

à la myéline.

Conclusions. Bien que le modèle de décroissance mono-exponentielle suppose que $R2^*$ soit une quantité absolue, ce n'est pas réellement le cas pour un voxel. Il n'est donc pas nécessaire d'essayer de faire du $R2^*$ une quantité reproductible. La recherche de la reproductibilité peut se faire aux dépens de la sensibilité. Au contraire, une relaxométrie adaptée à la quantité mesurée ou à la zone étudiée doit être envisagée en jouant entre autres sur la sélection des TE.

References

1. Ropele, S. et al. 2014. " Multicenter $R2^*$ Mapping in the Healthy Brain: Multicenter $R2^*$ Mapping ". *Magnetic Resonance in Medicine* 71 (3): 1103-7.

Mots-Clés: IRM, relaxométrie

Solution automatisée de classement des images d'IRM-4D du foie

Baptiste L'homel *[†] ¹, Laure Parent *[‡] ¹, Oliver Bieri *[§] ², Zarko Celicanin *[¶] ², Phillippe Cattin *^{||} ³, Soleakhena Ken *^{**} ⁴

¹ Département d'ingénierie et de physique médicale/Institut Universitaire du Cancer de Toulouse - Oncopole/Toulouse/France – Institut Universitaire du Cancer de Toulouse - Oncopole – 1 avenue Irène Joliot-Curie, 31059 Toulouse Cedex 9, France, France

² Department of Radiology/ Division of Radiological Physics/University of Basel Hospital – Spitalstrasse 21/Petersgraben 4, 4031 Basel, Suisse

³ Medical Image Analysis Center/ University of Basel – Schanzenstrasse 21, CH 4031 Basel, Schweiz - 4031 Basel, Suisse

⁴ Département d'ingénierie et de physique médicale/Institut Universitaire du Cancer de Toulouse - Oncopole/Toulouse/France – Institut Universitaire du Cancer de Toulouse - Oncopole – Avenue Irène Joliot-Curie 31059 Toulouse Cedex 9, France

Introduction. La stéréotaxie est une méthode validée pour traiter les lésions du foie¹. Parce qu'elle implique de hautes doses par fraction sur de petits volumes, il est nécessaire de segmenter précisément les volumes cibles. L'IRM est l'imagerie la plus indiquée pour le contourage des lésions du foie mais elle est sujette aux artéfacts de mouvement si le cycle respiratoire n'est pas pris en compte lors de l'acquisition. L'évaluation du mouvement de la lésion est nécessaire en radiothérapie pour orienter la prise en charge du patient (traitement avec asservissement respiratoire). Une séquence d'IRM-4D a été précédemment validée pour le foie². Une solution automatique de classement des images tenant compte du cycle respiratoire est développée dans cette étude. *Méthodes.* L'IRM-4D est réalisée avec une séquence expérimentale (bSSFP True-FISP) sur une IRM Magnetom AreaTM 1,5T (Siemens). Cette séquence permet des acquisitions 2D axiales et sagittales rapides (0,88 s/coupe) pendant la respiration libre. Les coupes axiales (une quarantaine) sont les images anatomiques qui couvrent le volume du foie. Les coupes sagittales, appelées " navigateurs " sont toujours acquises à la même position. Elles sont utilisées pour attribuer à chaque coupe axiale une phase suivant le découpage en amplitude du cycle respiratoire (0% = inspiration, 16%, 33%, 50% = expiration, 66%, 83%). Le volume pulmonaire est estimé sur chaque navigateur par segmentation automatique pour situer l'image axiale associée dans le cycle respiratoire.

La séquence a été testée sur 4 volontaires avec un audio-coaching (cycles respiratoires de 5 et 6 sec). Ensuite, 2 patients ont bénéficié de l'acquisition 4D.

*Intervenant

[†] Auteur correspondant: lhomelbaptiste@gmail.com

[‡] Auteur correspondant: parent.laure@iuct-oncopole.fr

[§] Auteur correspondant: oliver.bieri@unibas.ch

[¶] Auteur correspondant: zarko.celicanin@unibas.ch

^{||} Auteur correspondant: philippe.cattin@unibas.ch

^{**} Auteur correspondant: Ken.Soleakhena@iuct-oncopole.fr

Résultats. Un exemple de classement automatisé des images d'un patient en fonction de leur phase respiratoire est donné en Figure 1. L'audio-guidage n'est pas utilisé ici. Il est indiqué pour les patients qui respirent de manière irrégulière durant l'acquisition.

Chaque phase est ensuite importée dans le logiciel de planification de traitement Eclipse 13.7TM (Varian).

A partir des images axiales, Eclipse reconstruit des coupes dans les plans sagittal et coronal, et permet de visualiser la dynamique du mouvement du volume du foie en fonction des 6 phases du cycle respiratoire.

Conclusions. Des IRM 4D de volontaires et de patient ont été acquises avec la séquence bSSFP TrueFISP. Après un classement automatisé des coupes axiales en 6 phases du cycle respiratoire, les images sont importées dans Eclipse. L'IRM 4D est ensuite recalée avec le scanner 4D afin d'améliorer la précision des délinéations du radiothérapeute.

Références

- HAS, Radiothérapie en conditions stéréotaxiques des tumeurs hépatiques, (2016).
- Nemtanu T. *et al.* Application of a novel retrospective method for liver 4D-MRI, (56ème journées SFPM 2017).
- Celicanin Z. *et al.* Simultaneous Acquisition of Image and Navigator Slices Using CAIPIR-INHA for 4D MRI, *Magnetic Resonance in Medicine*, (2015).

Mots-Clés: Stéréotaxie, IRM, 4D, Phase respiratoire

Écoulement de référence et rôle du physicien médical dans la validation des protocoles de flux 4D par IRM

Thomas Puiseux ^{2,1}, Anou Sewonu ¹, Olivier Meyrignac ³, Hervé Rousseau ³, Franck Nicoud ², Simon Mendez ², Ramiro Moreno ^{* 1}

² Institut Montpelliérain Alexander Grothendieck (IMAG) – CNRS : UMR5149 – 499-554 Rue du Truel, 34090 Montpellier, France

¹ ALARA Expertise – Alara Expertise – 7 Allée de l'Europe - 67960 Entzheim, France

³ Radiologie, CHU de Toulouse – Hôpital de Rangueil, Université Paul Sabatier (UPS) - Toulouse III, Inserm – 1 avenue du Prof Jean Poulhes - BP 84225 - 31432 Toulouse Cedex 4, France

Introduction. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) appliquée à l'évaluation des flux 4D est de plus en plus utilisée en routine clinique pour déceler et traiter les pathologies cardiovasculaires(1,2). Bien que les applications soient évidentes et la puissance des nouvelles technologies (deep learning) répondent efficacement à cette demande (Arterys), la qualité des résultats reste fortement tributaire des paramètres de la séquence d'acquisition. La nécessité de limiter le temps d'examen conduit à alors à dégrader les paramètres de séquence(3), ce qui conduit à une perte de contrôle sur la qualité des mesures de vitesse. Jusqu'à présent aucun programme d'assurance qualité n'était capable d'évaluer la qualité des mesures de flux 4D. Dans ce travail, nous proposons un écoulement de 'référence' destiné à estimer les écarts avec les mesures de vitesse 4D Flow obtenues par IRM.

Méthodes. L'écoulement de référence est matérialisé par un dispositif expérimental muni d'une pompe compatible IRM, des capteurs de débit et de pression et d'un fantôme imprimé en 3D. Comme les conditions d'écoulement et la géométrie sont parfaitement maîtrisées, l'écoulement est modélisé par mécanique des fluides (CFD). Les mesures obtenues par IRM sur le modèle expérimental sont comparées à la modélisation. Les écarts obtenus sont évalués sur l'ensemble des points de l'écoulement sur les composantes de la vitesse.

Résultats. L'écart entre l'écoulement de référence (CFD) et une séquence IRM 4D Flow idéalisée (Siemens Avanto, 1,5T, voxel 2x2x2mm, 35 phases, 45 min d'acquisition) est de 0,96% sur les mesures de vitesse. Les écarts avec les séquences cliniques (voxel > 3mm, temps d'acquisition courts, imagerie parallèle) sont très divers et peuvent dépasser les 20% si les paramètres de séquence ne sont pas maîtrisés.

Conclusions. L'utilisation clinique des séquences IRM 4D Flow doit bénéficier d'un programme d'assurance qualité à l'initiative de l'exploitant ou du constructeur. La grande variabilité des acquisitions et des appareils (marques, modèles, champ) impose qu'un système de référence pour le contrôle qualité soit défini et que la participation du physicien médical dans le processus de validation des protocoles soit établie. Le système de référence proposé est un outil qui permet d'atteindre cet objectif.

*Intervenant

Mots-Clés: 4D Flow, IRM, contrôle qualité

Performance Assessment of Magnetic Resonance Imaging (MRI) pelvimetry using ex vivo pelvises and a 3D-printed geometric-distortion phantom

Anou Sewonu * ^{1,2}, Olivier Meyrignac ^{3,1}, Louise Gervais ³, Hervé Rousseau ³, Ramiro Moreno ^{2,1}

¹ Institut des Maladies Métaboliques et Cardiovasculaires (I2MC) – Université Paul Sabatier - Toulouse 3, Hôpital de Rangueil, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : U1048 – 1 avenue du Prof Jean Poulhes - BP 84225 - 31432 Toulouse Cedex 4, France

² ALARA EXPERTISE – Alara Expertise – 7 allées de l’Europe, 67960 Strasbourg-Entzheim, France

³ Radiologie, Pôle imagerie, Hopital Rangueil, CHU Toulouse – Université Paul Sabatier (UPS) - Toulouse III, CHU Toulouse – 1, avenue du Professeur Jean Poulhès - TSA 50032 - 31059 Toulouse cedex 9, France

Introduction. Feto-maternal morbidity and mortality increase with prolonged labor which can be related with fetal-pelvic disproportion. Pelvimetric imaging is useful for assessing the eligibility of vaginal delivery in patients suspected of having disproportion (Ferguson, 2000). Commonly performed using Computed Tomography (CT), pelvimetry is being increasingly done in MRI in order to tackle issues of ionizing-radiation exposure and take advantage of the rich contrast provided in MRI (Fielding, 1998). Nonetheless, MR images can be subjected to geometric distortions because of hardware design limitations (Wang, 2004). Such distortions may impair MRI-pelvimetric measurements. In this study, we assessed the accuracy of MRI-pelvimetry compared with CT-pelvimetry using ex-vivo pelvises and a 3D-printed geometric-distortion phantom. *Method.* We scanned ten ex-vivo pelvises on a CT scanner (Siemens Sensation) using the implemented clinical low-dose (LD-CT) and high-dose (HD-CT) pelvimetry protocol. MRI was performed on four 1.5T MRI scanners (Siemens Avanto, GE Signa, Philips Achieva, Toshiba Elan). Pelvises were scanned in sagittal and oblique axial using T1-, T2-weighted FSE and T1-weighted SPGR sequences. A trained radiologist performed pelvimetry measurements. Pelvic inlet and outlet anteroposterior diameters were measured using sagittal images. Pelvic inlet and outlet transverse diameters were measured using oblique axial images. For data analysis, MRI measurements were compared with CT using Bland-Altman plots and discrepancy analysis. MRI measurements were also analyzed for inter-scanner variability. Geometric distortion (GD) measurement: we used a custom previously-published methodology which relies on a 3D-printed phantom made up of 3621 control points which are 5mm-diameter spheres equally spaced within a cylinder(diameter=length=170mm) (Sewonu, 2016). GD images were acquired on the Siemens Avanto MR unit with and without the manufacturer’s correction that is available but commonly unused by clinical teams.

*Intervenant

Results. The discrepancy between LD-CT and HD-CT measurements was up to 10%. The discrepancy between MRI and LD-CT was up to 11%. As for **MRI and HD-CT, the discrepancy was up to 7%. MRI inter-scanner variation was up to 8%**. As for geometric distortions, measurements were $-1.4\text{mm} < \delta < 0.4\text{mm}$ without correction and $-0.9\text{mm} < \delta < 0.3\text{mm}$ with correction.

Conclusion. For pelvimetry purposes, our preliminary results show that MRI is as much accurate as high-dose CT and outperforms low-dose CT. We also show that geometric distortions can be minimized in MR images by using the implemented corrections. Hence MRI pelvimetry appears as an excellent alternative to CT pelvimetry in an endeavor to reduce fetuses exposure to ionizing radiation. Upcoming works in this study include assessment of interobserver reproducibility with the intervention of a second radiologist and geometric distortion measurement on the three remaining MRI scanners.

References

1. Ferguson et al. Can fetal-pelvic disproportion be predicted. Clin Obstet Gynecol (2000).
2. Fielding et al. MR imaging of pelvic floor continence mechanisms in the supine and upright positions. Am J Radiol (1998).
4. Wang et al. A proposed scheme for comprehensive characterization of the measured geometric distortion in magnetic resonance imaging using a three-dimensional phantom. Med Phys (2004).
5. Sewonu et al. Design of a geometric distortion characterization method in 3D MRI: stereotactic application. Magn Reson Mater Phy (2016) 29(Suppl 1): 401.

Mots-Clés: IRM, Pelvimétrie, Contrôle qualité, Précision géométrique

Quantification des distorsions géométriques sur les IRM et évaluation de l'impact de la correction des distorsions

Ludovic Vanquin ^{*}, Frederik Crop ¹, Erwann Rault ², Antoine Wagner ¹, Romain Cayez ¹, Julien Laffarguette, Nick Reynaert ¹, Thomas Lacornerie ¹

¹ Centre Oscar Lambret, Lille (COL) – CRLCC Oscar Lambret – 3, rue Frédéric Combemale BP 307 - 59020 LILLE Cedex, France

² Centre Oscar Lambret, Lille (COL) – CRLCC Oscar Lambret – 3, Rue Frédéric Combemale, France

Introduction

L'utilisation de l'IRM pour le contourage en radiothérapie nécessite de s'assurer de l'intégrité géométrique des structures dans l'image.

Nous évaluons ici l'efficacité de l'algorithme de correction des distorsions géométriques implémenté par le constructeur et intégré à l'IRM, de même que l'impact géométrique de la non prise en compte des distorsions. Nous quantifions aussi les distorsions résiduelles dans l'image après correction afin de les prendre en compte dans l'établissement de la marge appliquée au PTV pour un traitement de radiothérapie.

Méthodes

Une acquisition axiale T1 écho de gradient (IRM 3T) avec et sans correction des distorsions est effectuée sur fantôme et sur des patients atteints de tumeurs cérébrales (avec injection de Gadolinium). Un GTV est ensuite contouré par un médecin sur l'IRM corrigée et non corrigée. Une acquisition CT est effectuée en plus des IRM. Les paramètres des acquisitions sont ceux utilisés en clinique pour les traitements des tumeurs intracrâniennes.

Identification des principales régions de distorsion :

Le contour externe du fantôme dans l'IRM corrigée et non corrigée est déformé élastiquement de l'un vers l'autre. L'amplitude des vecteurs de déplacement permet ensuite d'identifier les principales régions impactées par les distorsions (Fig 1). La même approche est appliquée sur des patients en considérant comme surface déformable le contour externe des patients dans les deux IRM (Fig 2).

Quantification des distorsions et des distorsions résiduelles dans l'IRM corrigée et non corrigée:

Les distorsions sont quantifiées en comparant sur fantôme les écarts entre des marqueurs visibles simultanément dans les IRM et le CT (Fig 3).

^{*}Intervenant

Résultats

Le champ vectoriel de déformation montre que les principales régions concernées par les distorsions sont celles les plus éloignées de l'isocentre en tête-pieds (Fig 4 & 5).

Sur fantôme : les distorsions maximales mesurées dans l'IRM non corrigée sont comprises entre 1 et 2 mm pour les coupes proches de l'isocentre et jusqu'à 3mm pour les coupes les plus éloignées ; elles sont de l'ordre de 1mm dans l'IRM corrigée.

Sur patients : Un écart maximal de 2mm est observé entre le contour GTV de l'IRM corrigée et celui de l'IRM non corrigée (Fig 6).

Conclusions

Les résultats soulignent l'importance de la correction des distorsions géométriques. Leur non-corrrection peut entraîner des déformations de plusieurs mm. L'application de l'algorithme de correction intégré à l'IRM permet de réduire ces distorsions, notamment dans les régions les plus éloignées de l'isocentre.

La quantification des distorsions résiduelles sur IRM corrigée a été effectuée sur fantôme ; or d'autres facteurs de distorsion s'ajoutent dans le cas de patients (comme celui lié à la susceptibilité magnétique tissulaire). L'impact de ces distorsions sera évalué par la suite en nous basant sur une approche par déformation élastique multi-modalité CT -IRM

Mots-Clés: IRM, distorsion géométrique

RT - Radiologie Interventionnelle

Impact des équipements de radioprotection sur la dosimétrie de l'opérateur et du patient en coronarographie

Aya Al Masri * ¹

¹ BIOMEDIQA Groupe – Fouad MAALOU – 99 C Rue Parmentier, 59650 Villeneuve-d'Ascq, France

Introduction. Pour réduire l'exposition des travailleurs en radiologie interventionnelle, des équipements de protection collective (EPC) sont utilisés (bas volets et son extension verticale, paravent-plafonnier). Dans le même but, des écrans radio-atténuateurs RADPAD® ont été développés.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des EPC et du RADPAD® sur l'exposition de l'opérateur en coronarographie ; nous évaluons également la variation de la dose à la peau du patient sans et avec le RADPAD®.

Méthodes. Premièrement, l'équipement de radiologie interventionnelle Siemens ARTIS ONE est positionné en incidence OAG 0°. La dose à différentes hauteurs le long du corps de l'opérateur (50, 75, 100, 125, 150 et 175cm) est mesurée sans aucun EPC, puis en les ajoutant successivement (bas volets, extension verticale des bas volets, paravent-plafonnier et écran atténuateur RADPAD®).

Deuxièmement, la dose à la peau d'un fantôme disposé sur la table du patient, est mesurée à 3 distances du paravent-plafonnier plombé dans le sens caudal, sans et avec le RADPAD® à 68 KVp en OAG 0° puis à 125 KVp en OAG 0° et OAG 30°.

Résultats. Les 3 EPC ont montré une atténuation de 76% à 175 cm de hauteur le long du corps de l'opérateur. Celle-ci est augmentée de 3.8%% après l'ajout du RADPAD®.

L'utilisation du RADPAD® entraîne une augmentation de la dose à la peau du patient de 13% dans la zone proche du paravent plombé à basse tension. Par contre, il atténue la dose de 85.5% à 26 cm de ce dernier dans le sens caudal à la même tension. A haute tension, la dose est atténuée aux 3 distances caudales considérées, cette atténuation varie en fonction de la distance par rapport au paravent-plafonnier plombé et de l'angle du tube de rayons X.

Conclusions. Les EPC sont efficaces pour diminuer l'exposition de l'opérateur aux RX en coronarographie. Du côté du patient, le RADPAD® permet une diminution importante de l'exposition; celle-ci est par contre un peu plus élevée à 68 KVp à proximité du champ de rayons X.

*Intervenant

Mots-Clés: équipements de protection collective, RADPAD®, patient, opérateur, radioprotection

Preliminary characterization study of a miniaturized GaN-based X-ray detector for Virtual Fluoroscopy

Pierrick Guiral ¹, Patrick Pittet * ², Yannick Grondin ³, Patrice Jalade ⁴, Jean-Marc Galvan ⁵, Guo-Neng Lu ², Laurent Desbat ¹, Philippe Cinquin ¹

¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, CHU Grenoble (TIMC-IMAG) – Université Grenoble Alpes, CNRS : UMR5525, CHU Grenoble – F-38000 Grenoble, France

² Université de Lyon; Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL) – CNRS : UMR5270, Université Lyon 1 – Villeurbanne, F-69622, France

³ Surgiquil Institute (SQI) – Surgiquil Institute – Meylan, France

⁴ Service de Physique Médicale et Radioprotection – Hospices Civils de Lyon – Centre Hospitalier Lyon Sud 165, chemin du Grand Revoyet 69495 PIERRE BENITE CEDEX, France

⁵ Université de Lyon; Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL-UMR5270) – CNRS : UMR5270, CPE LYON – Villeurbanne, F-69616, France

Introduction. An innovative Virtual Fluoroscopy (VF) concept has recently been introduced to reduce both patient and staff doses in a large proportion (more than 10 times) during image guided catheterization procedures. VF implements i) a rotating collimator enabling a fan beam scanning of the ROI and ii) a miniaturized X-ray detector embedded on the wire guide tip. The synchronized detection of each detector exposure allows the real time localization of the detector, (i.e. of the guide tip which can thus be back projected on the preoperative image for virtual image guidance). The performance of VF in terms of localization accuracy and of dose reduction relies on a large amount on the performances of the X-Ray detector. GaN-based detector shows very suitable properties for VF, especially in terms of biocompatibility, miniaturization, response level and speed.^{2,3,4} We present here the preliminary characterization study of a GaN-based detector for such an application.

Methods. We have developed an experimental setup for the characterization of the GaN detector probe in static and dynamic (rotating) mini-fluoroscopy beam². The GaN probe consists of a 0.027mm³ crystal optically coupled to a 370 μ m optical fiber. Measurements were carried out on a SIEMENS Axiom Luminos dRF operated in automatic pulsed fluoroscopy mode at 15 fps. The testing bench implements a fixed F=5mm circular collimator followed by a rotating collimator for ON/OFF modulation of the irradiation beam (pulse of 1ms). The static dose rate at the detector probe position was also measured in an open field (with the same irradiation condition) by using a reference detector.

Results. The miniaturized GaN based detector allows the detection of the fluoroscopy irradiation within 200 μ s, i.e. for a skin dose 50 times lower than the dose per fluoroscopy frame. It was operational for both static and dynamic (rotating) field conditions. Nevertheless, the detector was not yet synchronized on the rotating collimator for these studies and thus, larger standard deviations were observed on dynamic measurements as compared to the static ones.

*Intervenant

Conclusions. A GaN based X-ray detector has been characterized in the context of VF. It gives very encouraging results, but some optimizations on detector sensitivity and time resolution remain to be done to reach the optimal performances for VF.

References

1. Grondin, Y., Augerat P., Cinquin, P., Desbat, L. & Decrouez, M. Rotary collimator for determining the position of an element provided with sensors in an x-ray imaging system. Patent WO2017072125 (2017).
2. Jewett, S. A. *et al.* Gallium nitride is biocompatible and non-toxic before and after functionalization with peptides. *Acta Biomaterialia* **8**, 728–733 (2012).
3. Pittet, P. *et al.* Dosimetry systems based on Gallium Nitride probe for radiotherapy, brachytherapy and interventional radiology, *IRBM*, 92-100 (2015).
4. Lu, G-N., Pittet, P. & Galvan, J-M., In vivo dosimetry, EP 2115488 B1 (2008).

Mots-Clés: Virtual fluoroscopy, X, ray detector

Retour d'expérience sur cinq ans d'exploitation d'un DACS en cardiologie interventionnelle

Thibault Julien * ¹, Stefaan Carpentier ², Laura Guerin[†] ¹, Stéphanie Battini ¹, Fouad Maaloul ¹

¹ BIOMEDIQA – BIOMEDIQA – 99C rue parmentier, 59650 Villeneuve d'Ascq, France

² Hôpital Privé La Louvière – Hôpital Privé La Louvière – 69 rue de la Louvière, 59042 Lille, France

Introduction. Le service de cardiologie interventionnelle de l'hôpital Privé de La Louvière, équipé de la solution logicielle DOSTIRACE (DACS), décrit son expérience de traçabilité et d'optimisation de la dose-patient pendant cinq ans.

Méthodes. 12874 examens réalisés à partir de l'équipement Axiom Artis de Siemens ont été collectés par DOSITRACE (de 2011 à 2016). Les doses-patient et les paramètres d'exposition sont analysés. Les protocoles étudiés sont ceux les plus utilisés : la coronarographie et la coronarographie sans VG ; et ceux les plus irradiants : dilatation coronaire et CTO. Deux niveaux d'alertes de surexposition sont considérés en fonction des risques associés. Pour des protocoles moyennement irradiants, le seuil 1 est 2 fois le NRI (Niveau de Référence Interventionnel), le seuil 2 est 4 fois le NRI. Pour les protocoles reconnus irradiants, le seuil 1 est 300 Gy.cm², le seuil 2 est 600 Gy.cm² (seuil à partir duquel il est reconnu que des effets déterministes peuvent apparaître). L'étude de l'évolution de ces alertes est réalisée sur la période considérée.

Résultats. L'utilisation d'un DACS sur cinq ans a permis une réduction des NRI. Ils ont diminué de 28,4% pour la coronarographie sans VG et 50,9% pour la CTO.

Mots-Clés: DACS, cardiologie interventionnelle, dose, alertes

*Intervenant

[†]Auteur correspondant: laura.guerin@biomediqa.com

Utilisation d'un dose archiving and communication system pour la détermination de niveaux de référence interventionnels en chirurgie cardiaque

Stephie Sarcy *¹, Pascal Leprince², Catherine Jenny¹, Jacques-Antoine Maisonobe¹

¹ Assistance publique - Hôpitaux de Paris (AP-HP) – AP-HP [Groupe hospitalier Pitié - Salpêtrière] – 47-83 boulevard de l'Hôpital 75651 Paris Cedex 13, France

² Groupe hospitalier Pitié Salpêtrière - Service de chirurgie cardiaque – AP-HP [Groupe hospitalier Pitié - Salpêtrière] – 47-83 boulevard de l'Hôpital 75651 Paris Cedex 13, France

Introduction. En cardiologie, les expositions des patients aux radiations ionisantes sont importantes et peuvent parfois engendrer de graves complications. En profitant de la connexion au DACS (*Dose Archiving and Communication System*) d'une salle de chirurgie cardiaque, nous cherchons à déterminer des Niveaux de Référence Interventionnels (NRI) locaux pour les actes réalisés dans cette salle.

Méthodes. Le service de chirurgie cardiaque de l'hôpital Pitié-Salpêtrière dispose d'une installation fixe Allura Xper FD20 (Philips). Cette salle bénéficie d'une connexion au DACS du Groupe, RDM (*Radiation Dose Monitor*, Medsquare), depuis Juin 2016. Pour cette étude rétrospective, tous les dossiers patients enregistrés dans le DACS pour cette salle de Juin 2016 à Décembre 2017 sont inclus dans l'analyse.

Pour l'ensemble des dossiers considérés, la procédure indiquée dans le DACS est réassignée, en fonction de l'acte réalisé, dans 3 groupes principaux : ECMO (*ExtraCorporeal Membrane Oxygenation*), Endoprothèse et TAVI (*Transcatheter Aortic Valvular Implantation*). Les actes tels que : dilatation aortique, pose de PM ou angioplastie, réalisés moins fréquemment dans cette salle, sont regroupés dans "Autres actes". Les patients pour lesquels l'acte réalisé n'est pas connu sont classés dans un dernier groupe : NA.

Pour les 3 groupes principaux, les médianes, les 75ème centiles (NRI locaux), les moyennes, les écarts-types, les valeurs minimales et maximales portant sur le Produit Dose Surface (PDS, en mGy.cm^2), le kerma dans l'air (K_{air} , en mGy) au point de référence interventionnel et le temps de scopie (min), sont extraits à l'aide du DACS.

Résultats. Un total de 430 dossiers est enregistré dans le DACS : 16 dans ECMO, 16 dans

*Intervenant

Endoprothèse, 275 dans TAVI, 37 dans Autres actes, 80 dans NA. 6 dossiers sont exclus pour des raisons de mauvais enregistrement des données.

Pour le groupe ECMO, Endoprothèse et TAVI, les NRI locaux sur Kair sont de 120, 999 et 762 mGy, respectivement. Pour le PDS, les NRI locaux sont de 46867, 233923 et 146539 mGy.cm², respectivement. L'ensemble des valeurs relevées est présenté dans le tableau 1.

Conclusions. Une fois les actes réassignés, l'utilisation du DACS nous permet de déterminer, rapidement et en incluant un maximum de données, des NRI locaux pour chaque acte pratiqué dans cette salle. Cependant, la réassignation des actes à posteriori pour cette étude rétrospective est chronophage : l'assignation à priori sera envisagée dans la suite de ce travail.

Le faible nombre de valeurs pour les groupes ECMO et Endoprothèse limite la robustesse des NRI proposés pour ces actes. Ces actes étant peu fréquents dans cette salle, nous chercherons, par la suite, à étoffer les données afin d'inclure un minimum de 30 dossiers. En revanche, pour le groupe TAVI, les valeurs obtenues vont être paramétrées comme NRI locaux dans le DACS du Groupe.

Évaluation de la dose pic à la peau pour des procédures cliniques vasculaires en radiologie interventionnelle : une comparaison entre trois solutions numériques de calcul

Francois Gardavaud *¹, Sebastian Tavoraro¹, Nicolas Gussenmeyer-Mary²,
Francois Cornelis^{1,3}, Frank Boudghene¹

¹ Hôpital Tenon - Service d'Imagerie Médicale, Paris – Assistance publique - Hôpitaux de Paris (AP-HP) – 4 rue de la Chine, Paris, France

² General Electric Medical Systems [Buc] (GE Healthcare) – General Electric Medical Systems – 283 rue de la Minière, 78 530 Buc, France

³ Institut des Sciences du Calcul et des Données (ISCD) – Université Pierre et Marie Curie [UPMC] - Paris VI – Institut des sciences du calcul et des données boîte courrier 380, 4, place Jussieu 75252 Paris cedex 05, France, France

Introduction : Cette étude a comparé l'évaluation de la dose pic à la peau (PSD) estimée par un logiciel de suivi de dose à deux autres solutions numériques pour des procédures cliniques interventionnelles réalisées dans une salle angiographique.

Méthodes : 26 patients, de morphologie standard, ont bénéficié de procédures vasculaires interventionnelles réalisées dans une salle angiographique (GE Innova IGS 540, GE HealthCare, Buc, France). Pour chaque cas clinique, évalué pour des conditions d'embolisation variées, les calculs de PSD ont été effectués à l'aide de trois solutions numériques : avec Em.Dose v 3.0.11 (Esprimed, Villejuif, France), noté PSDEmDose; avecInnova DoseMap2 (GE HealthCare, Buc, France), noté PSDInnova et avec DoseWatch v2.3 (GE HealthCare, Buc, France), noté PSD-DoseWatch. Les acquisitions d'angiographie 3D ont été prises en compte pour l'ensemble des solutions de calcul de PSD. Les fichiers journaux ont été récupérés afin d'obtenir les PSDDoseWatch. L'utilisation du modèle de calcul avec un fantôme de forme super-elliptique, ajusté pour chaque patient, a été forcé afin d'obtenir les valeurs de PSDEmDose les plus précises à partir des fichiers DICOM incluant toutes les séquences angiographiques (2D et/ou 3D) et toutes les séquences fluoroscopiques enregistrées par l'opérateur. Pour les trois solutions numériques de calcul, un facteur d'ajustement, prenant en compte l'erreur de mesure de la chambre plate évaluant le PDS, a été intégré pour calculer toutes les valeurs de PSD. Les valeurs PSDDoseWatch ont été statistiquement comparées aux valeurs PSDInnova aux valeurs PSDEmDose.

Résultats : Les valeurs moyennes de PSD étaient de 560 ± 540 mGy, 559 ± 494 mGy et 571 ± 551 mGy pour PSDDoseWatch, PSDInnova et PSDEmDose respectivement. Les valeurs de PSD-DoseWatch étaient fortement corrélées aux valeurs PSDInnova ainsi qu'aux valeurs PSDEmDose ($P > 0.9999$ pour chaque combinaison avec le test non-paramétrique de comparaisons multiples de Dunn).

*Intervenant

Conclusions : D'après cette étude, les valeurs de PSDDoseWatch sont cohérentes pour être utilisées en routine clinique par des médecins médicaux expérimentés et formés quand les patients bénéficient de procédures vasculaires interventionnelles, impliquant une zone d'exposition thoracique, abdominale et/ou pelvienne, dans une salle angiographique comportant un seul tube RX.

Références :

1. J. Greffier et al. Assessment of peak skin dose in interventional cardiology: A comparison between Gafchromic film and dosimetric software em.dose. *Physica Medica* 38 (2017) 16–22
2. C. Bordier et al. Accuracy of a dose map method assessed in clinical and anthropomorphic phantom situations using gafchromic films. *Radiation Protection Dosimetry* (2015), pp. 1–6

Mots-Clés: Dose pic à la peau, solution de calcul, radiologie interventionnelle

Développement d'un modèle de prédiction des risques radiologiques en cardiologie interventionnelle

Laura Guerin *¹, Stefaan Carpentier², Fabrice Leroy³, Fouad Maaloul¹

¹ BIOMEDIQA – BIOMEDIQA – 99C rue parmentier, 59650 Villeneuve d'Ascq, France

² Hôpital Privé la Louvière – Hôpital Privé La Louvière – 69 rue de la Louvière, 59800 Lille, France

³ Intercard interventional cardiology center – Intercard interventional cardiology center – 20 rue du ballon, 59800 Lille, France

Introduction. L'objectif de l'étude est d'estimer, avant l'intervention, la dose-patient, dans le cadre d'une recanalisation d'occlusion chronique totale (CTO). Pour cela, des indicateurs cliniques pertinents doivent être sélectionnés afin de prédire, au mieux, le risque d'apparition d'effets déterministes et ainsi améliorer la prise en charge du patient.

Méthodes. 103 procédures ont été réalisées dans le service de cardiologie interventionnelle avec un amplificateur de brillance Siemens Artis Zee indiquant l'air Kerma. La dose maximale à la peau (Peak Skin Dose PSD) a été mesurée pour chaque intervention à l'aide de films radiochromiques. Les paramètres- patients tels que le sexe, l'âge, le poids et la taille ont été relevés. L'indice de complexité J-CTO score, propre à chaque intervention, a été déterminé par le cardiologue. Une méthode de corrélation appliquée à ces indicateurs a permis de préciser leur influence sur la dose. Un modèle prédictif de la dose a été créé à l'aide d'une régression linéaire multiple.

Résultats. Sur 103 patients concernés par l'étude, 5 ont été écartés pour des raisons cliniques et 2 pour un placement des films radiochromiques en dehors du champ d'exposition. 96 cartographies 2D de la dose ont finalement été utilisées. Les facteurs d'influence ayant la plus forte corrélation avec le PSD sont le diamètre du patient et le J-CTO score. Le modèle prédictif se base sur ces paramètres. La comparaison entre les doses à la peau estimées et mesurées montre un écart moyen de $0,85 \pm 0,55$ Gy pour des doses inférieures à 6 Gy. L'écart moyen entre l'air-Kerma et le PSD est de $1,66 \text{ Gy} \pm 1,16 \text{ Gy}$.

Conclusions. Une première estimation de la dose à la peau du patient est disponible avant le début de l'intervention, ce qui aide le cardiologue dans la réalisation de son geste. Cette estimation est plus précise que celle fournie par l'Air-Kerma.

*Intervenant

RX - Imagerie Autres

Comparaison du calcul de dose à l'organe en scanographie

Thibault Julien * ¹, Aya Al Masri ¹, Laura Guerin ¹, Stéphanie Battini ¹,
Fouad Maaloul ¹

¹ BIOMEDIQA – BIOMEDIQA – 99C rue parmentier, 59650 Villeneuve d'Ascq, France

Introduction. La dose absorbée dans un organe est utilisée pour quantifier la dose-patient. Cette donnée n'est pas accessible directement et s'obtient par des calculs se basant sur un modèle donné. Le DACS (Dose Archiving and Communication System) DOSITRACE propose un module calculant automatiquement la dose à l'organe des examens scanographiques. Nos résultats sont comparés avec les valeurs établies par VIRTUALDOSE (Virtual Phantoms) 1. Ce logiciel, reconnu par la communauté scientifique, s'appuie sur un algorithme Monte-Carlo.

Méthodes. Les calculs sont réalisés dans DOSITRACE, pour un patient de morphologie standard (CIPR 89) à partir du CTDIvol, du courant et du temps de rotation pour chaque acquisition, issus directement des scanners. Un jeu de données est récupéré sur trois scanners de fabricants différents. Il inclut 30 patients pour 4 protocoles différents : abdomen-pelvis, thraco-abdomen pelvis, thorax et crâne. Ils permettent de couvrir la tête et le tronc du patient. Les valeurs de dose à l'organe sont comparées sur un large panel comprenant 360 examens.

Résultats. Les valeurs de dose fournies par DOSITRACE et VIRTUALDOSE présentent un écart inférieur à 20%.

Conclusions. Le module de calcul de dose à l'organe vient compléter la solution DOSITRACE, toujours dans l'objectif d'optimiser la dose-patient.

References

1. Ding, A. *et al.* VirtualDose: a software for reporting organ doses from CT for adult and pediatric patients. *Phys.Med. Biol.* **14**, 5601–5625 (2015).

Mots-Clés: DACS, dose à l'organe

*Intervenant

Nouvelle méthode de détermination de la qualité de faisceaux X

Guo-Neng Lu ¹, Ruoxi Wang ¹, Thais Luana Vidal De Negreiros Da Silva ¹,
Pierrick Guiral ¹, Patrice Jalade ², Patrick Pittet ^{*† 1}

¹ Université de Lyon; Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL) – CNRS : UMR5270, Université
Lyon 1 – Villeurbanne, F-69622, France

² Service de Physique Médicale et Radioprotection – Hospices Civils de Lyon – Centre Hospitalier Lyon
Sud 165, chemin du Grand Revoyet 69495 PIERRE BENITE CEDEX, France

Introduction. Pour la dosimétrie des rayonnements X kiliovolt, la détermination de la qualité du faisceau est un élément important pour sa caractérisation spectrale. La qualité de faisceau peut être spécifiée en termes de tension d'accélération et/ou de couches de demi-atténuation (CDA).¹ Pour la mesurer, on utilise en général des détecteurs matriciels associés à différentes couches d'atténuation. Nous proposons ici une approche originale pour la détermination de la qualité de faisceau réalisée en absence d'équilibre électronique avec des détecteurs quasi-radio transparents.

Méthodes. Alors que pour les faisceaux X MégaVolts utilisés en radiothérapie, l'équilibre électronique est atteint à une profondeur de quelques centimètres dans l'eau, aux basses énergies (kV), on considère que la dose à la peau est maximale et que l'équilibre électronique est établi à ce niveau. Il existe cependant une région de build-up très proche de la surface où l'équilibre électronique n'est pas encore établi et où le dépôt de dose évolue très rapidement avec la profondeur. Nous avons étudié par des simulations de Monte-Carlo (Penelope) cette région très superficielle pour différents spectres de faisceaux X radiologiques. L'objectif de cette étude est de valider si l'interaction du faisceau avec le milieu dans cette région est caractéristique de sa qualité.

Résultats. Les résultats de simulation montrent une augmentation quasi-linéaire du dépôt de dose à très faible profondeur puis une inflexion pour atteindre le point de dose maximum. Il apparaît sur ces résultats que i) la pente caractérisant l'augmentation du dépôt de dose à très faible profondeur et ii) la profondeur où le maximum de dose est atteint, dépendent très fortement des caractéristiques spectrales du faisceau. Ces données peuvent être exploitées pour caractériser la qualité de faisceau. A noter que cette caractérisation étant réalisée en amont de la profondeur associée au maximum de dose, elle peut être réalisée avec un détecteur quasi-radio-transparent.

Conclusions. L'étude de l'évolution du dépôt de dose à très faible profondeur a permis de démontrer que cette évolution, en absence d'équilibre électronique est caractéristique des propriétés spectrales du faisceau de rayons X. En mesurant cette évolution par exemple avec un détecteur silicium aminci, il serait possible de déterminer la qualité de faisceau par des mesures en amont de la profondeur du maximum de dose, sans perturber significativement les conditions d'irradiation.² Ceci est particulièrement intéressant pour des mesures in-vivo, où ce type de détecteur serait quasi-radio transparent.

*Intervenant

†Auteur correspondant: patrick.pittet@univ-lyon1.fr

References

1. Chen, S. C., Jong, W. L. & Hharun, A. Z. Evaluation of X-ray beam quality based on measurements and estimations using SpekCalc and Ipe78 models. *Malaysian J. Med. Sci.* **19**, 22–28 (2012).
2. Lu, G-N., Pittet, P. & Wang, R. Method and monolithic device for characterising the quality of an x-ray beam. *Patent WO2017216499* (2017).

Mots-Clés: Qualité de faisceaux X, Assurance qualité en radiologie

Simulation of CTDI using GATE for 2, 16, 64 slices CT system

Mounir Mkimel ^{*† 1,2}, Mohammed Reda Mesradi ¹, Redouane Baydaoui ¹,
Saad El Madani ¹, Abderaouf Hilali ¹

¹ Laboratory of technology and medical sciences, high institute of health – , Hassan 1st University, Settat, Maroc

² Department of public hospital, Settat – Hassan II Public Hospital, Settat, Maroc

Introduction:

Since the introduction of the computed tomography in the clinical application in the 1971's, the CT has revolutionized the medical imaging techniques. It well known that Doses from CT examinations are higher if we compared with other medical imaging modalities. Many studies considered that CT may be responsible of radiation-induced diseases, especially carcinogenic processes so it's important to justify and optimize the radiation dose during CT procedures. In this work, we aimed to estimate the computed tomography dose index (CTDI) using the Monte Carlo code Geant4 Application for Tomographic Emission (GATE) for 3 CT acquisition system.

Methods :

CTDI is the most important indicator of the CT radiation dose. We have evaluated the CTDI with the experimental method using a pencil ion chamber and two phantoms PMMA (Poly-MethylMethAcrylate) for simulating head and body. A code based on Monte Carlo simulation named GATE was used for modeling CT geometry for the simulation method. A comparison between simulated and measured CTDI was established for the 3 CT system.

Result :

Results of the simulation are presented and good agreements are observed between measured and simulated CTDI. For dual slices (less than 1.18% for head phantom and 1.85% for body phantom for all applied voltages). For 16 slices (less than 3.7% for head phantom and 3.8% for body phantom for all applied voltages). For 64 slices (less than 1.7% for head phantom and 2 % for body phantom for all applied voltages). These differences observed can be geometry explained by the difficulty to model a precise geometry and the random errors in the simulated CTDI. We demonstrated that the CTDI values can be characterized as functions of the voltage (kVp), the current (mAs) and diameter of phantoms.

Conclusion :

Based on these results, it is possible to optimize the CT parameters in clinical applications using the Monte Carlo code GATE.

*Intervenant

†Auteur correspondant: m.mkimel@uhp.ac.ma

Mots-Clés: CT, CTDI, GATE, Monte Carlo.

Estimation of the organ and effective dose during CT chest examination: a Monte Carlo study

Mounir Mkimel* ¹, Mohammed Reda Mesradi ^{† 1}, Redouane Baydaoui ¹,
Yassine Benameur ¹, Maroine Tahiri ¹, Saad El Madani ¹, Abderaouf Hilali ¹

¹ Laboratory of technology and medical science, high institute of health, – Hassan 1st University, Settat,, Maroc

Introduction :

Computed tomography represents actually the most important key in medical imaging. It helps practitioner to give good diagnostic. For this reason a high quality image with low dose must be provided during CT examinations. Many methods were used to estimate organ and effective dose. In this work we aimed to estimate the organ and effective dose during chest CT examinations using the Monte Carlo code GATE (Geant4 Application for Tomographic Emission) and voxelized phantoms.

Methods :

Two methods were used to estimate the effective dose. The first one was the conversion factors method based on the dose length product (DLP) and the conversion factor from AAPM report N°96. The second one based on the organ dose from Monte Carlo simulation and tissue weighting factors from ICRP 103 report.

A CT Simens Somatom Emotion 16 slices was modeled using GATE, a voxelized phantom ZUBAL was used in this study.

Result :

Organ doses during CT chest examination were 0.62 mGy, 0.21mGy, 0.76 mGy, and 0.11mGy, 0.61mGy for heart, lung, arm bone, trunk tissue, and ribs respectively. The effective doses were 1.85 mSv for conversion factor method and 1.17 mSv for the other method.

Conclusion :

The Monte Carlo method with voxelized phantoms can be a good way to estimate the organ dose and the effective dose precisely.

*Auteur correspondant: mkimel.mounir@gmail.com

[†]Intervenant

Mots-Clés: CT, Monte Carlo, GATE, Voxelized phantom.

Medical Physicist and Radiologists, a winning team: definition of a new biomarker for the assessment of small aortic aneurysm rapid growth risk

Ramiro Moreno *^{1,2}, Olivier Meyrignac^{3,2}, Charline Zadro³, Anou Sewonu^{1,2}, Hervé Rousseau^{3,2}, Alexis Jacquier⁴, Laurence Bal⁵

¹ ALARA Expertise – Alara Expertise – 7 Allée de l'Europe - 67960 Entzheim, France

² Institut des Maladies Métaboliques et Cardiovasculaires, Toulouse (I2MC) – Inserm, CHU Toulouse, Université Paul Sabatier (UPS) - Toulouse III – 1 avenue du Prof Jean Poulhes - BP 84225 - 31432 Toulouse Cedex 4, France

³ Radiologie, CHU de Toulouse – Hôpital de Rangueil, Université Paul Sabatier (UPS) - Toulouse III, Inserm – 1 avenue du Prof Jean Poulhes - BP 84225 - 31432 Toulouse Cedex 4, France

⁴ Service de Radiologie, CHU la Timone, APHM (CHU la Timone, APHM) – Hôpital de la Timone [CHU - APHM] – CHU la Timone, Marseille, APHM, France

⁵ Département de Chirurgie Vasculaire, CHU la Timone, Marseille (APHM) (APHM) – Hôpital de la Timone [CHU - APHM] – CHU la Timone, Marseille (APHM), France

Introduction. Abdominal Aortic Aneurysm (AAA) is a common pathology which treatment decision is mostly made upon measurement of maximal diameter, despite known limitations. Thanks to the collaboration between Medical Physicist and Radiologist, this study aimed to identify new biomarkers based on computational fluid dynamics (CFD) analysis to predict AAAs rapid growth risk.

Methods. In our multi-centric and prospective study, we included 78 patients with an AAA from September 2012 to June 2014. Patients underwent two CT examinations separated by a one-year interval to assess aneurysms growth. Fifty patients underwent CFD analysis thanks to the Medical Physicist expertise. Based on a 10 ml threshold of total volume growth, we classified patients into slow and rapid growth groups. Aneurysms initial morphological and functional parameters were analyzed including: maximal diameter and surface, thrombus and lumen volumes, maximal wall pressure and wall shear stress (WSS).

Results. There was a significant difference between the two groups regarding aneurysm lumen volume ($P=0.0051$) and mean WSS variation ($P=0.0240$) unlike maximal diameter ($P=0.71$). We found significant correlation of aneurysm volume growth with lumen volume and reduction of the mean WSS variation value (respectively $R=0.47$, $P=0.0015$ and $R=-0.42$, $P=0.0062$) and total aneurysm volume growth. Combining these parameters, we computed an AAAs growth-predicting model, which featured better area under ROC than the only measurement of maximal diameter (0.78 vs 0.52, $P=0.0031$). Depending on the threshold, our model yields either excellent sensitivity (95.00% [IC95% 75.1, 99.9]) or specificity (90.00% [IC95% 73.5, 97.9]).

Conclusions. Tight collaboration between Medical Physicist and Radiologists allowed to find a

*Intervenant

promising biomarker based on CFD which provides better information than maximal diameter to assess rapid AAAs volume growth risk.

Mots-Clés: modélisation, radiologie, mécanique des fluides

Impact des différentes générations d'algorithmes itératifs sur la détectabilité à bas contraste en tomodensitométrie abdominale

Anais Viry ^{*† 1}, Damien Racine ², Fabio Becce ³, Francis Verdun ²

¹ Institut de Radiophysique (IRA) – Rue du Grand Pré 1, 1007, Lausanne, Suisse

² Institut de Radiophysique (IRA) – Rue du Grand pré, 1 1007 Lausanne, Suisse

³ Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV) – Rue du Bugnon, 46 1011 Lausanne, Suisse

Introduction. Le processus d'optimisation de la dose en tomodensitométrie doit assurer que lors d'un examen une réponse peut toujours être apportée à la principale question clinique posée. Une des tâches cliniques les plus critiques est la détection de lésions à bas contraste, en particulier pour les patients les plus corpulents. Avec l'apparition des algorithmes de reconstruction itérative (IR), la mesure du rapport contraste sur bruit ne permet plus d'évaluer la détectabilité à bas contraste. Le but de cette étude est donc d'investiguer une tâche de détection de lésions à bas contraste en utilisant une méthode quantitative basée sur la tâche clinique, alternative à la mesure du rapport contraste sur bruit. L'impact des différentes générations d'IR sur la détectabilité à bas contraste a été étudié pour différentes tailles de patients.

Méthodes. L'étude a été réalisé avec un fantôme anthropomorphique abdominal, auquel deux anneaux optionnels peuvent être ajouté, permettant de simuler différents diamètres effectifs de patients (25, 30 et 35 cm). Le fantôme contenait des lésions sphériques à bas contraste (20 UH de différence par rapport au fond) de 5, 6 et 8 mm de diamètre. Chaque fantôme a été scanné sur 4 machines (GE Revolution, GE HD 750 ; Siemens Flash et Siemens Edge) en utilisant le protocole clinique de routine de deux hôpitaux universitaires (IDSV 5.9–16 mGy). Les images ont été reconstruites avec un algorithme de rétroprojection filtrée (FBP) pour les 4 installations et avec les différents IR disponibles sur l'installation: ASiR 50% pour le CT HD 750, SAFIRE 3 pour le CT Flash (tous deux de type " statistical IR "), ASiR-V 50% pour le CT Revolution, ADMIRE 3 pour le CT Edge (tous deux de type " partial model-based IR "), et VEO pour le CT HD 750 (de type " full model-based IR "). Une tâche de détection de lésions à bas contraste a été évaluée à l'aide d'un modèle d'observateur " Channelized Hotelling Observer " avec 10 canaux de type " Dense difference of Gaussian " en utilisant le paradigme ROC. L'aire sous la courbe ROC (AUC) a été utilisée comme figure de mérite pour quantifier la détectabilité.

Résultats. Pour le petit fantôme et la plus petite taille de lésion, aucune différence significative n'a été constatée pour les différents IR en comparaison à l'algorithme FBP. Pour le fantôme le plus large, les algorithmes " statistical IR " et " partial model-based IR " n'ont pas amélioré significativement la détectabilité à bas contraste. En revanche, seulement VEO a permis d'améliorer significativement l'AUC de 8.4%.

Conclusions. Le passage de FBP aux IR ne permet pas d'obtenir un gain notable de détectabilité à bas contraste, pour différentes tailles de patients. Le potentiel de réduction de dose permettant

*Intervenant

†Auteur correspondant: anais.viry@gmail.com

d'assurer une même qualité d'image diagnostique pour cette tâche clinique est donc limité pour les protocoles tomodensitométriques abdominaux.

Mots-Clés: Tomodensitométrie, algorithmes itératifs, modèle d'observateurs, détectabilité à bas contraste

Discrimination and characterization of calcium crystal types with a multi-energy spectral photon-counting CT for crystal-related arthropathies: Initial experience and diagnostic performance in vitro

Anais Viry ^{*† 1}, Raja Aamir ², Tracy Kirkbride ³, Nigel Anderson ²,
Christele Combes ⁴, Francis Verdun ⁵, Fabio Becce ⁶

¹ Institut de Radiophysique (IRA) – Rue du Grand Pré 1, 1007, Lausanne, Suisse

² University of Otago – Christchurch, Nouvelle-Zélande

³ Ara Institute of Canterbury – Christchurch, Nouvelle-Zélande

⁴ Université de Toulouse – CIRIMAT - INPT – Toulouse, France

⁵ Institut de Radiophysique, Lausanne (IRA) – Rue du Grand Pré 1, 1007, Lausanne, Suisse

⁶ Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV) – Rue du Bugnon, 46 1011 Lausanne, Suisse

Introduction. Crystal-related arthropathies are a growing global health problem and imaging plays an important role in the diagnosis. Indeed, distinguishing crystal type, whether monosodium urate or one of the calcium crystal types is a clinical challenge because diagnosis and treatment depends on the crystal type involved. Although clinical imaging has made substantial progress in recent years, particularly with the development of dual-energy CT (DECT) protocols in people with longstanding and/or tophaceous gout, the diagnostic performance of DECT remains limited in the early stages of gout⁴. Moreover, while DECT is relatively accurate in distinguishing monosodium urate (MSU) from the various calcium deposits, there is currently no imaging technique capable of noninvasively differentiating one calcium crystal type from another in crystal-related arthropathies, whether in or around the joints. We aimed to determine the in-vitro diagnostic performance of multi-energy spectral photon-counting CT (SPCCT) in crystal-related arthropathies.

Methods. Four crystal types (monosodium urate, MSU; calcium pyrophosphate, CPP; octacalcium phosphate, OCP; and calcium hydroxyapatite, CHA) were synthesized and blended with agar at the following concentrations: 240, 88, 46, and 72 mg/mL, respectively. Crystal suspensions were scanned on a pre-clinical SPCCT system at 80 kVp using the following four energy thresholds: 20, 30, 40, and 50 keV. Differences in linear attenuation coefficients between the various crystal suspensions were compared using the receiver operating characteristic (ROC) paradigm. Areas under the ROC curves (AUC), sensitivities, specificities, and diagnostic accuracies were calculated. Crystal differentiation was considered successful if $AUC > 0.95$.

Results. Multi-energy SPCCT can accurately differentiate MSU from CPP and CHA, CPP from OCP, and OCP from CHA in vitro. The distinction between MSU and OCP, and CPP and

*Intervenant

†Auteur correspondant: anais.viry@gmail.com

CHA is more challenging.

Conclusions. Multi-energy SPCCT can accurately differentiate MSU from CPP and CHA, CPP from OCP, and OCP from CHA in vitro. The distinction between MSU and OCP, and CPP and CHA is more challenging. The accurate identification and characterization of MSU and various calcium crystals would help improve both diagnosis and management of crystal-related arthropathies.

Mots-Clés: Photon counting imaging, multi energy spectral CT, crystal related arthropathies

Acceptance du tomодensitomètre Siemens Definition Edge

Francois Gardavaud * ¹, Damien Brevier ¹

¹ Hôpital Tenon - Service d'Imagerie Médicale, Paris – Assistance publique - Hôpitaux de Paris (AP-HP) – 4 rue de la Chine, Paris, France

Introduction: Le nouveau système d'acquisition tomодensitométrique Somatom Definition Edge (Siemens Healthineers, Erlangen, Allemagne) comporte un système d'acquisition reposant sur des détecteurs solides associés à une chaîne d'acquisition à très faible niveau de bruit électronique et un tube à Rayons X (RX) à haute résolution spatiale. Ainsi, la spécificité des composants imageurs impose un contrôle strict du nouveau scanner.

Pour ce faire, un test d'acceptance du système d'imagerie a été réalisée. Il repose sur des contrôles qui ont pour but d'évaluer le respect de l'ensemble des spécifications fournies par le constructeur.

Matériel et méthodes : Lors de l'acceptance, une analyse reposant sur la dosimétrie, la qualité image, les performances électroniques a été réalisée. Celle-ci a été basée en partie sur le protocole de contrôle défini par la Commission Electrotechnique Internationale (CEI).

La tension du tube RX et la Couche de Demie Atténuation (CDA) ont été évaluées à l'aide d'un dosimètre à semi-conducteur (Piranha, RTI Electronics, Suède).

L'indice de Dose Scanographique Pondéré (IDSP) a été mesuré dans l'air, dans un fantôme tête et dans un fantôme corps avec l'aide d'une chaîne de dosimétrie constituée d'un électromètre et d'une chambre d'ionisation crayon de 10 cm de longueur.

Via des fantômes de contrôle qualité fournis par le constructeur, plus précisément le fantôme d'eau IEC 300 et le fantôme avec une bille d'aluminium (Siemens Healthineers, Erlangen, Allemagne), la fonction de transfert de modulation (FTM), la précision de positionnement des lasers, le profil de sensibilité, le bruit et l'homogénéité ont été évalués à l'aide des modules implémentés au sein du tomодensitomètre.

Résultats : La totalité des contrôles, réalisés lors de l'acceptance, ont respecté les spécifications fournies par le constructeur.

Le temps de physique médicale consacré s'est élevé à 1 semaine de préparation, 1 journée complète d'intervention et 1 semaine d'analyse des données recueillies.

*Intervenant

Conclusion : Les contrôles effectués ont permis de s'assurer de la qualité des différents éléments physiques de la chaîne d'imagerie du système tomodensitométrique Somatom Definition Edge.

L'assurance du respect des spécifications du constructeur s'inscrit dans une étape primordiale pour le lancement d'une campagne d'optimisation du couple qualité image / dose.

Mots-Clés: TDM, acceptance

RX - Médecine Nucléaire

Rôle prédictif de la dosimétrie basée sur l'imagerie TEMP des MAA marqués au ^{99m}Tc (^{99m}Tc -MAA) dans le traitement des carcinomes hépatocellulaires (CHC) avancés traités par radiothérapie interne sélective (RTIS) par microsphères de résine chargées en ^{90}Y (^{90}Y -MS) : une cohorte de l'étude SARAH

Anne-Laure Hermann ^{1,2}, Arnaud Dieudonné * ^{1,3}, Maxime Ronot ², Manuel Sanchez-Garcia ¹, Helena Pereira ^{4,5}, Gilles Chatellier ^{4,5}, Laurent Castera ⁶, Rachida Lebtahi ^{1,3}, Valérie Vilgrain ^{2,3}

¹ Département de Médecine Nucléaire, Hôpital Beaujon – Assistance publique - Hôpitaux de Paris (AP-HP) – Clichy, France

² Département d'imagerie, Hôpital Beaujon – Assistance publique - Hôpitaux de Paris (AP-HP) – Clichy, France

³ INSERM U1149, Centre de Recherche de l'Inflammation (CRI) – Université Paris Diderot - Paris 7 – Paris, France

⁴ Unité de recherche clinique, Hôpital Européen George Pompidou – Assistance publique - Hôpitaux de Paris (AP-HP) – Paris, France

⁵ Université Paris-Descartes, Sorbonne Paris Cité, Faculté de Médecine – Université Paris Descartes - Paris 5 – Paris, France

⁶ Département d'hépatologie, Hôpital Beaujon – Assistance publique - Hôpitaux de Paris (AP-HP) – Clichy, France

Introduction La dosimétrie basée sur l'imagerie TEMP des ^{99m}Tc -MAA est indiquée dans la planification des traitements des tumeur hépatiques par RTIS avec les ^{90}Y -MS de résine. Le but de cette étude est d'évaluer son rôle prédictif dans le CHC avancé avec la cohorte de l'étude SARAH (NCT01482442).

Matériel et méthodes Parmi les 184 patients de l'étude traités par RTIS, 121 ont été inclus dans l'analyse de survie et 109 pour la réponse tumorale. Les évaluations de réponse à 6 mois et de la dosimétrie ont été centralisées à l'hôpital Beaujon. Un score visuel à 3 niveaux (accord optimal, sous-optimal et non-optimal) a été défini entre le TDM pré-inclusion, le ^{99m}Tc -MAA-TEMP/TDM et le ^{90}Y -MS-TEMP/TDM ou TEP/TDM. La dosimétrie a été réalisée en appliquant le formalisme MIRD aux données ^{99m}Tc -MAA. Le foie et les poumons ont été délinés sur le TDM, et la tumeur définie par seuillage sur le TEMP. La dose absorbée a été calculée par une approche Dose Point Kernel en considérant l'activité injectée répartie entre le foie et les

*Intervenant

poumons. Les valeurs suivantes ont été extraites des histogrammes dose-volume : dose absorbée moyenne, D20 (la dose minimale irradiant au moins 20% du volume), D50 et D80.

Résultats La médiane de dose absorbée tumorale était de 112 Gy (IQR 67,8–220). Les patients ayant reçu plus de 100 Gy à la tumeur (n=67) avaient une survie significativement plus longue (médiane de 14 mois (95% CI 9,6–18,6)) *vs.* médiane 6,1 mois pour < 100 Gy (95% CI 4,9–6,8), $p < 0.0001$). La médiane de survie la plus longue a été obtenue chez les patients > 100 Gy avec un score visuel optimal (n=24, 25 mois (95% CI 9,6–34)). Le contrôle tumoral (stabilité, réponse partielle ou complète) était significativement associé à une dose tumorale plus élevée (médiane 121 Gy (IQR 86.0–189.8) *vs.* 85 Gy (IQR 58.4–164.3) pour les " non contrôlés ", $p=0,0204$), contrairement à la réponse objective (médiane 133 Gy (IQR 76,2–238) *vs.* 104 Gy (IQR 72,0–175) pour les " non répondeurs ", $p=0.2$). Avec un score visuel optimal (m=69 traitements), le taux de contrôle augmente progressivement du 1er jusqu'au 3ème quartile (28% pour < 76 Gy à 82% pour > 111 Gy), avec un plateau à partir du 3ème. La dose tumorale > 100 Gy est le meilleur facteur prédictif de survie prolongée selon l'analyse multivariée (< 0.0001).

Conclusion La dose absorbée tumorale calculée par $^{99m}\text{Tc-MAA-TEMP/TDM}$ dans le traitement des CHC avancés par $^{90}\text{Y-MS}$ de résine est un facteur prédictif significatif associé à la survie globale et au contrôle tumoral. Les meilleurs résultats en termes de survie et contrôle tumoral ont été observés chez les patients ayant une dose tumorale > 100 Gy et un score visuel optimal entre les différentes imageries.

Mots-Clés: dosimétrie interne, radiothérapie interne vectorisée, radioembolisation, radiothérapie interne sélective, yttrium 90

Etude de la limite de détectabilité d'une gamma-caméra à l'Iode-131

Raphael Hermouet *¹, Fanny Poisson¹, Caroline Rousseau^{1,2}, Nicolas Varmenot^{1,2}, Ludovic Ferrer^{1,2}

¹ Institut de cancérologie de l'Ouest - Nantes (ICO Nantes) – CRLCC René Gauducheau – Saint Herblain, France

² Centre de Recherche en Cancérologie / Nantes - Angers (CRCNA) – CHU Angers, Hôtel-Dieu de Nantes, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : U892, Hôpital Laennec, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR6299, Faculté de Médecine d'Angers, Centre Hospitalier Universitaire de Nantes – 8 quai Moncoussu - BP 70721 - 44007 Nantes, France

Introduction. Dans le cadre du traitement du cancer différencié de la thyroïde à l'iode-131, une scintigraphie post-thérapeutique est réalisée pour vérifier le ciblage des reliquats thyroïdiens. Plusieurs traitements successifs peuvent être proposés en cas d'une ascension des marqueurs thyroïdiens du patient, signe d'une repousse des cellules thyroïdiennes ou d'apparition de maladie métastatique. Dans certains cas, les cellules thyroïdiennes se dé-différencient, ne captent plus l'iode et amènent à une scintigraphie dite "blanche" qui conduit à l'arrêt des traitements par iode-131. Toutefois, l'absence de fixation ne donne aucune information sur l'absence ou non de tissus thyroïdien métastatique. Il apparaît alors pertinent d'évaluer la limite de détectabilité de notre gamma-caméra à l'iode-131.

Matériels et Méthodes. Nous avons simulé à l'aide du code Monte-Carlo Gate (v7), en adoptant une technique de réduction de variance (ARF), des images de notre modèle de gamma-caméra (Discovery NM/CT 690, GEHC) en l'ayant évalué au préalable en terme de résolution spatiale, sensibilité, et contraste. Une étude Receiver Operating Characteristic (ROC/LROC) a été menée avec plusieurs médecins à l'aide d'images simulées d'un objet-test cylindrique dans différentes conditions géométriques d'acquisition (concentration radioactive, volume et profondeur des lésions) similaires à celles rencontrées en clinique. Nous avons, par ailleurs, étudié différents modèles d'observateurs automatiques pour s'approcher au mieux des résultats de l'étude ROC menée par les médecins nucléaires.

Résultats. Les images simulées et acquises présentent des performances identiques en termes de résolution spatiale, sensibilité et contraste. L'utilisation de la table ARF réduit le temps de simulation par 20. Les études ROC/LROC menées avec les médecins montrent une variabilité importante en termes de performances de détection. Certains observateurs automatiques comme la méthode "2-Alternative Forced Choice" approchent les résultats obtenus par les observateurs médicaux alors que l'observateur automatique CHO les dépasse. Ces différentes observations ont permis d'établir une équation empirique, reliant la concentration radioactive nécessaire à la détection d'une source en fonction de sa profondeur dans le fantôme et de sa taille. Une concentration radioactive minimale de 25 kBq/mL est apparue nécessaire pour détecter toutes les lésions, à partir d'un diamètre de 15 mm quels que soient leurs profondeurs.

*Intervenant

Conclusions. Une étude ROC/LROC menée sur des images simulées a permis d'évaluer la limite de détectabilité d'une gamma-caméra pour différentes géométries d'acquisition. Cette étude confirme que des lésions peuvent rester invisibles à la détection et qu'une scintigraphie dite "blanche" ne signifie pas nécessairement une dé-différenciation des cellules métastatiques thyroïdiennes.

Mots-Clés: gamma, caméra, détectabilité, CHO, ROC, scintigraphie, thyroïde

Imagerie et Radiothérapie Interne Vectorisée ” le concept de Théranostique ”

Elif Hindié *† ¹

¹ Service de Médecine Nucléaire (CHU Bordeaux) – CHU Bordeaux – Bordeaux, France

La radiothérapie interne vectorisée (RIV) est basée sur l'utilisation de radio-pharmaceutiques pour irradier les tumeurs avec l'avantage de pouvoir cibler des métastases disséminées. Elle nécessite que le radio-pharmaceutique présente une grande sélectivité afin de réduire la toxicité aux tissus sains. La RIV connaît actuellement un grand essor avec le développement de différents peptides et autres ligands de petite taille pouvant cibler des récepteurs surexprimés à la surface de cellules tumorales. Nous évoquerons différents exemples comme la RIV par ¹⁷⁷Lu-DOTATATE dans les tumeurs neuroendocrines, la RIV par ¹⁷⁷Lu-PSMA dans le cancer de la prostate, et autres approches en cours. Un des aspects majeurs de ces développements réside dans la possibilité d'utiliser avant traitement des molécules similaires mais marquées par un isotope émetteur de positron, comme le gallium-68 afin de vérifier par imagerie TEP la bonne expression des cibles et prédire l'efficacité du traitement. Ceci constitue le principe de Théranostique ou ” Imager et Traiter ” qui un excellent exemple de l'approche personnalisée en cancérologie.

*Intervenant

†Auteur correspondant: elif.hindie@chu-bordeaux.fr

Optimisation de l'activité injectée en imagerie tomoscintigraphique de perfusion myocardique au ^{99m}Tc - Sestamibi

Sebastien Joly ¹, Jimmy Fontaine ^{*† 1}, Emilie Verrecchia ¹, Paul Retif ¹,
Sinan Ben Mahmoud ¹

¹ CHR Metz Thionville – Centre hospitalier régional Metz-Thionville – Hôpital de Mercy 1, allée du château - 57530 Ars-Laquenexy, France

S. Joly^{a,b}, J. Fontaine^a, E. Verrecchia^a, P. Retif^a, S. Ben Mahmoud^b
a Unité de physique médicale, CHR Metz-Thionville/Metz/France

b Service de médecine nucléaire, CHR Metz-Thionville/Metz/France

Introduction. L'optimisation des doses injectées de radiotraceurs est un enjeu important dans la radioprotection des patients en cardiologie nucléaire. L'objectif de cette étude est de comparer deux caméras de génération différente, l'une équipée de collimateurs parallèles (CP) et l'autre équipée de collimateurs focalisés (CF) sur l'aire cardiaque, en tomoscintigraphie myocardique. Cela permet de déterminer les facteurs influençant la qualité de l'imagerie scintigraphique et d'optimiser les doses injectées en tenant compte de ces facteurs et du gain de sensibilité apporté par la gamma caméra à CF.

Méthodes. Deux groupes de patients ont bénéficié d'une imagerie de perfusion myocardique respectivement par gamma caméra avec CP (groupe CP, n = 154) et avec CF (groupe CF, n = 46). La sensibilité moyenne, définie comme le rapport entre le nombre de coups moyen détectés par voxel dans le ventricule gauche et le nombre de photons émis par la source radioactive pendant la durée de l'examen, a été calculée pour les deux groupes et a été comparée aux caractéristiques de la population (poids, IMC et taille).

Parallèlement, une analyse qualitative visuelle portant sur un sous-groupe de 15 patients du groupe CP a été réalisée en aveugle par quatre médecins nucléaires suivant une échelle de 1 à 5, afin de déterminer le niveau de qualité minimale acceptable pour une interprétation fiable.

Un seuil de sensibilité moyenne a été défini en fonction de l'analyse qualitative visuelle et une activité minimale à injecter a été déterminée en fonction du poids des patients.

La sensibilité des deux gamma-caméras a par ailleurs été mesurée sur fantôme et un gain de sensibilité a été déterminé.

Résultats. L'analyse des images réalisées sur la gamma caméra à CP a mis en évidence un

*Intervenant

†Auteur correspondant: jim_f@hotmail.fr

coefficient de corrélation élevé entre le poids des patients et la sensibilité moyenne de l'examen suivant un modèle d'ajustement exponentiel ($0,83 \pm 0.02$). La validité du modèle sur la camera à CF est également confirmée.

L'analyse visuelle qualitative a permis de déterminer un seuil de sensibilité moyenne de , offrant ainsi la possibilité d'optimiser l'activité injectée en fonction du poids du patient (figure).

Figure - Optimisation de la sensibilité moyenne en fonction du poids (groupe CP)

La sensibilité de la caméra à CF est 5 fois supérieure à celle de la caméra à CP sur fantôme. Cet écart de sensibilité a été pris en compte pour déterminer la sensibilité moyenne corrigée correspondante sur la gamma caméra à CF. Un gain de sensibilité a ainsi pu être déterminé en fonction du poids du patient, pouvant aller jusqu'à 10 pour les patients à faible poids.

Conclusions. La caméra à CF autorise un gain de sensibilité conséquent permettant de réduire l'activité injectée. Ce travail préliminaire constitue une première étape en vue de l'optimisation méthodique des activités injectées aux patients devant bénéficier d'une imagerie de perfusion myocardique.

Comparaison entre les dosimétries prédictive et post-traitement pour les patients atteints de carcinome hépatocellulaire traités par radioembolisation aux microsphères de verre

Marilyne Kafrouni * ^{1,2,3}, Marjolaine Fourcade ¹, Sébastien Vauclin ², Alina-Diana Ilonca ¹, Denis Mariano-Goulart ^{1,3}, Fayçal Ben Bouallègue ^{1,3}

¹ CHU de Montpellier (Département de médecine nucléaire) – CHRU Montpellier – Hôpital Lapeyronie – Hôpital Gui de Chauliac 371 avenue du doyen G.Giraud 34295 MONTPELLIER Cedex 5, France

² DOSIsoft – DOSIsoft – 45/47 avenue Carnot, France

³ PhyMedExp, Université de Montpellier, INSERM, CNRS, CHU de Montpellier (PhyMedExp) – Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : U1046, Université de Montpellier : UMR9214, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR9214 – 371 Avenue du Doyen G. Giraud, CHU Arnaud de Villeneuve, Bâtiment INSERM Crastes de Paulet - 34295 Montpellier Cedex 5, France

Introduction. L'objectif de cette étude est d'analyser les différences entre la dosimétrie prédictive basée sur l'imagerie SPECT aux 99mTc-MAA et post-traitement basée sur l'imagerie PET aux microsphères d'⁹⁰Y, en recherchant les facteurs cliniques (positionnement du cathéter, vascularisation modifiée, distribution MAA/microsphère) et ceux liés à l'imagerie (résolution spatiale, effet de volume partiel, bruit).

Méthodes. Dix-neuf radioembolisations aux microsphères de verre de patients atteints de carcinome hépatocellulaire ont été analysées. Pour chaque traitement, les doses prédictives et post-traitement à la tumeur et au foie non-tumoral (FNT) ont été calculées avec un logiciel dédié (PLANET® Dose, DOSIsoft, Cachan, France) en appliquant une méthode de convolution basée sur les facteurs S voxel. L'activité administrée moyenne (\pm écart-type) était de 3,5 GBq (\pm 1.2) pour un volume tumoral de 546 mL (\pm 408mL). En plus de la dose moyenne (Dmoy), des paramètres dosimétriques extraits des histogrammes dose-volume ont été étudiés : la dose minimale reçue par 70% et 50% du volume tumoral (D70 et D50) ainsi que le pourcentage du volume tumoral recevant au moins 205 Gy (V205), comme recommandé dans la littérature¹. La différence et la corrélation entre les doses prédictives et post-traitement ont été évaluées avec un test apparié de Student et le coefficient de corrélation de Pearson. L'analyse de la concordance spatiale à l'échelle du voxel entre les distributions de MAA et de microsphères est en cours et devrait apporter des informations supplémentaires pour mieux comprendre la part des différences liée aux facteurs cliniques.

Résultats. Les résultats dosimétriques ont montré une bonne corrélation entre les dosimétries prédictive et post-traitement (*Tableau 1*). Cependant, les différences ont été significatives pour tous les paramètres dosimétriques considérés. Une tendance de l'imagerie PET aux microsphères d'⁹⁰Y à sous-estimer les doses basées sur l'imagerie SPECT aux 99mTc-MAA a été observée.

*Intervenant

Conclusions. La bonne corrélation globale observée entre les dosimétries prédictive et post-traitement confirment la valeur prédictive des MAA. Une tendance de l'imagerie PET-90Y à sous-estimer les doses établies à partir de l'imagerie SPECT aux 99mTc-MAA a été observée.

Références

Garin E, Lenoir L, Rolland Y, et al. 99mTc-MAA SPECT/CT based dosimetry accurately predicts tumour response and survival in hepatocellular carcinoma patients treated with 90Y-loaded glass microspheres: preliminary results. *J Nucl Med.* 2012;53:255–263.

Mots-Clés: Radiothérapie interne sélective, Microsphères d'90Y, Dosimétrie, Carcinome Hépatocellulaire

Évaluation et comparaison d'un nouveau collimateur basse énergie haute résolution

Gilles Le Rouzic ^{*† 1}, Elisabeth Biggs ^{*}

¹, Marion Charpentier ^{*}

1

¹ Service de médecine nucléaire CHRO (CHRO) – CHR Orléans – CHR d'Orléans 14 avenue de l'hôpital CS 86 709 45067 Orléans Cedex 2, France

Evaluation et comparaison d'un nouveau collimateur basse énergie haute résolution

G. Le Rouzica, E. Biggsa, M.Charpentiera

aService de médecine nucléaire CHRO/Orléans/France

Introduction.

Dans le but de trouver un compromis optimal entre la résolution spatiale et la sensibilité, GEHC a développé un nouveau collimateur (LEHRS) et l'a associé à un logiciel de traitement des images planaires (Clarity2D) et à une nouvelle technique d'acquisition en mode tomographique, le "step and shoot continous". L'objectif de l'étude est d'en mesurer les performances planaires et tomographiques et de les comparer à celles des collimateurs LEHR de GEHC et de Siemens.

Méthodes.

En mode planaire, la sensibilité et la résolution spatiale ont été mesurées pour les 3 collimateurs selon la norme NEMA NU1 – 2000.

En mode tomographique, la sensibilité volumique et la résolution spatiale ont été évaluées selon la norme NEMA NU1–2000 et la qualité d'image selon la norme NEMA NU2-2012 (contraste de 8). Les projections ont été acquises selon des protocoles utilisés en routine et les volumes ont été reconstruits avec un logiciel indépendant prenant en compte la perte de résolution avec la profondeur et la correction d'atténuation.

Résultats.

En mode planaire. La sensibilité maximale a été mesurée pour le LEHR de Siemens (100cps/MBq),

*Intervenant

†Auteur correspondant: gilles.le-rouzic@chr-orleans.fr

celle du LEHRS est 9% plus faible et celle du LEHR de GE est 22% plus faible. La largeur à mi-hauteur de la fonction de dispersion linéique, au contact, est équivalente entre les deux LEHR (4,9mm) et 5% plus élevée avec le LEHRS. Cependant avec l'apport de Clarity2D, la dégradation de LMH de la FDL du LEHRS est moins importante lorsque la distance du collimateur augmente. En présence de 15 cm de milieu diffusant, la résolution du LEHRS est de 9,2 mm, celle du LEHR GEHC est de 10,1 mm et celle du LEHR de Siemens est de 10,6 mm.

En mode tomographique. La sensibilité volumique du LEHRS supérieure aux LEHR (de 16% pour le LEHR Siemens et de 25% pour le LEHR GEHC). La résolution spatiale est équivalente pour les 3 collimateurs. Le recouvrement en contraste pour la plus grosse sphère chaude est équivalent pour les collimateurs GE (41% pour le LEHR et 39,3% pour le LEHRS) et supérieure au LEHR de Siemens (35,7%)

La variabilité du fond est meilleure pour le LEHRS (7,9%) que pour les LEHR (10,1% pour GEHC et 9,8% pour Siemens)

Conclusions.

En mode planaire, le collimateur LEHRS associé à Clarity2D présente un intérêt dès lors que du volume diffusant s'interpose entre lui et la source de rayonnement.

En mode tomographique, l'augmentation de la sensibilité volumique permet de réduire le bruit (faible variabilité du fond) tout en maintenant un recouvrement en contraste et une résolution spatiale équivalents voire supérieures aux autres collimateurs.

Comparaison des estimations de dose absorbée à l'organe obtenues avec PLANETDose et OLINDA/EXM V2.0 chez des patients traités par radiopeptidothérapie (RPT) au Lutathera®

E Mora-Ramirez * ^{3,2,1}, E Cassol ^{1,4,5}, L Santoro ⁶, S Chouaf ⁶, D Trauchessec ⁶, P Pouget ⁷, Pierre Kotzki ^{6,7}, E Deshayes ^{6,7}, Manuel Bardiès ^{1,3}

³ Université Paul Sabatier - Toulouse 3 (UPS) – Université Paul Sabatier-Toulouse III - UPS – 118 route de Narbonne - 31062 Toulouse, France

² Université de Costa Rica, École de Physique, CICANUM – San Jose, Costa Rica

¹ Centre de Recherches en Cancérologie de Toulouse – CRCT toulouse – Toulouse, France

⁴ Département de Médecine Nucléaire, Hôpitaux Toulouse – Hôpital Purpan – Toulouse, France

⁵ Faculté de Médecine, Université Toulouse III Paul Sabatier – Université Paul Sabatier-Toulouse III - UPS – Toulouse, France

⁶ Département de Médecine Nucléaire, Institut Régional du Cancer de Montpellier – Institut régional du Cancer de Montpellier – Montpellier, France

⁷ Centre de Recherche en Cancérologie de Montpellier, UMR 1194 – Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : UMR1194 – Montpellier, France

Introduction. Le Lutathera® est utilisé pour le traitement de patients atteints de tumeurs neuroendocrines. À l'Institut Régional du Cancer de Montpellier, les premiers patients ont été traités en 2016. Deux logiciels disponibles sur le marché peuvent être utilisés pour comparer les doses absorbées aux organes: OLINDA/EXM(OLINDA)V22 accessible avec HERMES et PLANET®Dose (PDose) de DOSISOFT. Le but de ce travail est de comparer les estimations de dose absorbée aux organes en utilisant l'approche de dépôt local d'énergie (ADLE).

Méthodes. Une patiente ayant bénéficié d'un traitement par Lutathera® a été injectée avec une activité totale de 7176,6MBq de [177Lu-[DOTA0,Tyr3]-octreotate. Quatre TEMP/TDM ont été réalisés sur la GE-Discovery NM/CT 670, à 4h, 24h, 72h et 168h. La comparaison dosimétrique a porté sur le foie, la rate et les reins. Le contourage et le recalage ont été effectués avec PDose. Le contourage a été réalisé sur le premier TDM, organe par organe. Un recalage rigide a été effectué pour chaque organe en prenant le premier TEMP/TDM comme référence. Le volume de référence, identique pour tous les temps de l'étude dosimétrique, a été utilisé pour estimer la masse de l'organe. PDose fournit un outil d'analyse bio-cinétique dans lequel les facteurs de calibration TEMP/TDM peuvent être saisis; l'ajustement bi-exponentiel a été choisi pour estimer les activités cumulées. Les temps de résidence ont été calculés et rentrés dans OLINDA afin de déterminer la dose absorbée bêta. D'autre part, la dose absorbée a été calculée avec PDose, par ADLE, en choisissant une fonction d'ajustement bi-exponentielle et en corrigeant de

*Intervenant

la densité du tissu. Pour permettre la comparaison avec OLINDA, l'estimation de la dose absorbée moyenne aux reins a été réalisée en pondérant les résultats rein droit/gauche par la masse.

Résultats. La masse du foie, de la rate, du rein gauche et droit était de 1636g, 99g, 145g, et 126g, respectivement. Les temps de résidence pour le foie, la rate et les reins gauche et droit étaient de 42,07h, 0,62h, 0,78h et 0,82h. Pour le foie, la rate et les reins, les estimations des doses absorbées sont de 16,0Gy, 3,9Gy, 3,7Gy pour PDose et 16,8Gy, 3,6Gy, 3,5Gy pour OLINDA, respectivement. La différence relative est de -4,8%, 8,9% et 5,2% pour les mêmes organes. En utilisant OLINDA d'autres organes tels que les glandes surrénales, les poumons et le pancréas enregistrent également les doses absorbées.

Conclusion. Les résultats obtenus avec PDose en utilisant l'hypothèse ADLE (avec correction de densité) pondérée par la masse concordent avec ceux donnés par OLINDA (avec correction de masse) à $\pm 10\%$ pour un groupe sélectionné d'organes. Cette étude préliminaire doit être poursuivie sur d'autres organes/tissus d'intérêt en radiothérapie interne vectorisée.

References

1. Novartis Media Relations. Advanced Accelerator Applications Receives FDA Approval for Lutathera® for Treatment of Gastroenteropancreatic Neuroendocrine Tumors. 1–9 (2018). Available at: <https://www.novartis.com/news/media-releases> (Accessed: 6th April 2018)
2. Stabin, M. & Farmer, A. OLINDA/EXM 2.0: The new generation dosimetry modeling code. *J. Nucl. Med.* **53**, 585 (2012).

Mots-Clés: Lutathera, PLANETDose, OLINDA/EXM, Radiopeptidothérapie

Evaluation de la dose délivrée aux patients lors d'une scintigraphie osseuse couplée à un examen tomодensitométrique et optimisation des pratiques

Stephie Sarcy *¹, Jacques-Antoine Maisonobe¹, Catherine Jenny¹, Aurélie Kas², Marine Soret²

¹ Assistance publique - Hôpitaux de Paris (AP-HP) – AP-HP [Groupe hospitalier Pitié - Salpêtrière] – 47-83 boulevard de l'Hôpital 75651 Paris Cedex 13, France

² Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière – Service de médecine nucléaire – AP-HP [Groupe hospitalier Pitié - Salpêtrière] – 47-83 boulevard de l'Hôpital 75651 Paris Cedex 13, France

Introduction. Un état des lieux de l'utilisation de la TDM couplée à la TEMP et de la proportion de l'exposition du patient provenant du TDM est effectué dans notre service de médecine nucléaire pour les examens de scintigraphie osseuse. Notre objectif est d'optimiser nos examens TDM en fonction des besoins médicaux.

Méthodes. 50 patients ayant bénéficié d'un examen de scintigraphie osseuse TEMP/TDM sur la Discovery NM/CT 670 (GE Healthcare) de Janvier 2017 à Mars 2018 sont inclus à l'étude. Pour ces examens, les paramètres du TDM sont : coupes de 2,5mm, pitch de 1,375, temps de rotation de 0,7s, tension de 120kV. Le courant est modulé suivant la corpulence du patient en z (AutomA®) et en x,y (Smart mA®) avec un courant maximal (mAmax) de 110 mA. Le noise index (NI) est fixé à 26,9.

Le poids du patient, sa taille, l'activité de 99mTc administrée (8MBq/kg), la zone anatomique explorée et le Produit Dose Longueur (PDL) sont relevés. Pour chaque patient, la dose absorbée délivrée par le radionucléide, la dose efficace délivrée par le TDM et la dose efficace totale sont calculées.

Des acquisitions TDM sont ensuite réalisées avec des objets test, en faisant varier le NI, le pitch et le mAmax. La qualité image des TDM obtenues est analysée en termes de résolution spatiale, de contraste et de bruit.

Résultats. Pour les zones anatomiques " tête et cou (ORL) ", " abdomen et pelvis (AP) " et " thorax, abdomen et pelvis (TAP) ", le PDL moyen est de 49,5 ; 157,1 et 260,4 mGy.cm et l'activité injectée de 526; 625 et 573 MBq, respectivement. La dose efficace totale est de 3,6 ; 6,1 et 7,0 mSv. L'examen TDM contribue en moyenne à : 3,6%; 36% et 48,9% de la dose efficace totale, respectivement.

Pour les acquisitions sur les objets test, seule la diminution du NI à 20 et l'augmentation du mAmax à 140 mA a permis une nette amélioration de la qualité image.

*Intervenant

Conclusions. Dans le cadre de la scintigraphie osseuse, l'examen TDM pour la zone ORL contribue peu à la dose totale délivrée au patient. En revanche, sa contribution n'est pas négligeable pour les zones AP et TAP. Il n'existe pas de niveaux de référence diagnostiques pour les examens couplés TEMP/TDM. Cependant, le PDL relevé pour le TAP est 2,1 fois plus faible que la valeur guide proposée par la SFMN pour le TEP/TDM TAP (550mGy.cm).

Après discussion avec l'équipe médicale, une amélioration du contraste TDM dans les tissus mous est souhaitable dans un contexte oncologique. Dans ce but, on propose de modifier le NI à 20 et d'augmenter le mAmax à 140mA. Ceci implique une augmentation de l'Indice de Dose de Scanographie du Volume (IDSV) d'un facteur 1,5. On propose également d'adapter la tension en fonction de l'indice de masse corporelle des patients. Suite à la mise en place de ces recommandations, il sera nécessaire d'évaluer à nouveau les indices de dose et la qualité image. Une étude similaire est en cours pour les autres examens TEMP/TDM pratiqués dans le service.

Calcul de dose dans le cas d'une extravasation d'un patient traité au ^{177}Lu -DOTATATE

Perrine Tylski * ¹, Aurélie Vuillod ¹, Cynthia Goutain-Majorel ¹, Patrice Jalade ¹

¹ Service de Physique Médicale et Radioprotection – Hospices Civils de Lyon – Centre Hospitalier Lyon Sud 165, chemin du Grand Revoyet 69495 PIERRE BENITE CEDEX, France

Introduction. L'extravasation de radionucléides utilisés pour la thérapie comme le Lu-177 ($E_{\beta\text{Max}} = 498 \text{ keV}$, $E_{\gamma} = 113 \text{ keV}$ (6%) et 208 keV (10%), $T = 6,6 \text{ jours}$) peut entraîner des lésions très sévères des tissus mous¹. En septembre 2017, un patient a subi une extravasation lors de la perfusion de 7,4 GBq de Lutathera® dans le bras (AAA).

Méthodes. Quatre acquisitions corps entier (CE) ont été réalisées à 2h, 5h, 20h et 26h après le début de la perfusion (H0). Trois TEMP/TDM ont été réalisées consécutivement aux acquisitions CE 5h, 20h et 26h. Les images ont été acquises sur une Symbia T2® (Siemens Healthcare) avec un collimateur MELP, une fenêtre principale centrée sur 208 keV, 20 cm/min pour le balayage et 2x30 projections de 30s pour la TEMP. Une procédure locale de quantification des images TEMP de Lu-177 développée pour la dosimétrie rénale et basée sur un facteur de calibration, a été utilisée avec les paramètres de reconstruction suivants : FLASH 3D®, 10 itérations et 10 sous-ensembles, correction d'atténuation basée sur le TDM, correction de diffusion, post filtrage gaussien de 4 mm de LMH.

La période effective a été déterminée sur la moyenne géométrique des images corps entier.

Le volume sous cutané exposé étant difficile à délimiter, 3 volumes ($V1 = 180 \text{ mL}$, $V2 = 400 \text{ mL}$ et $V3 = 1000 \text{ mL}$) ont été déterminés sur les images TEMP par seuillage 3D. Les activités cumulées et doses respectives ($D1$, $D2$, $D3$) ont été calculées dans ces 3 volumes, à l'aide d'un facteur de passage $\xi = 0,0024 \text{ mGy.g}/(\text{MBq.s})$, tiré du site RADAR2.

Résultats. La période effective a été estimée à 11 h dans le corps entier et 3 h dans le bras.

L'image TEMP à $H0 + 2h$ n'étant pas disponible, l'activité à $H0 + 2h$ a été évaluée à partir de l'activité estimée sur les images TEMP à $H0 + 5h$ et le rapport du nombre de coups dans la région d'intérêt du bras sur la moyenne géométrique des images CE à $H0 + 2h$ et $H0 + 5h$.

Les activités cumulées ont été évaluées à l'aide d'un ajustement mono-exponentiel sur les valeurs d'activité estimées à partir des images TEMP.

Les doses dans les trois volumes ont été estimées à $D1 = 7,8 \text{ Gy}$; $D2 = 5,4 \text{ Gy}$ et $D3 = 2,8 \text{ Gy}$.

*Intervenant

Conclusions.

L'estimation de dose est de l'ordre de grandeur des effets déterministes à la peau. Cependant, le patient n'a présenté aucun signe clinique de l'irradiation.

L'élimination rapide du produit par les tissus du bras ($T_{\text{eff}} = 3\text{h}$) a été favorisée par la mise en œuvre de mesures spécifiques (application de gel chaud, massages répétés du site d'injection).

Références

1. van der Pol, J. et al. "Consequences of radiopharmaceutical extravasation and therapeutic interventions: a systematic review." *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 44.7 (2017): 1234-1243.
2. Stabin M, Siegel J, Lipsztein J, et al. RADAR (RAAdiation Dose Assessment Resource). <http://www.doseinfo-radar.com/RADARphan.html>.

Mots-Clés: Extravasation, ^{177}Lu , Radiothérapie interne vectorisée

Optimisation de l'activité injectée au patient dans le cadre de scintigraphie thyroïdienne dans l'objectif de se rapprocher du niveau de référence diagnostique

Maud Vande Woestyne *¹, Nathalie Gaillot-Petit[†]¹, Sofiane Guendouzen[‡]¹

¹ Institut Jean Godinot, Département de Radiophysique – Fédération nationale des Centres de lutte contre le Cancer (FNCLCC) – 1 rue du général Koenig CS 80014 51726 Reims Cedex, France

Introduction. La scintigraphie thyroïdienne au ^{99m}Tc avec le collimateur pinhole a pour objectif premier de différencier les nodules de la thyroïde (chaud/froid). L'activité correspondant au NRD est de 80 MBq, soit 87% de moins que l'activité actuellement injectée dans le centre. Suite à une étude statistique sur 50 patients, dont 45 présentant une euthyroïdie, les conditions actuelles de réalisation de cet examen ont été déterminées : activité injectée de $149 \text{ MBq} \pm 7.6 \text{ MBq}$ pour un temps d'attente après injection de $10 \pm 6 \text{ min}$ et un temps d'acquisition de $7 \pm 2 \text{ minutes}$, avec un nombre de coups total de $127 \pm 53 \text{ kcps}$. L'objectif est, de par des expérimentations sur fantôme et en accord avec les recommandations nationales, d'abaisser l'activité injectée pour un même temps d'acquisition et une qualité d'image suffisante pour l'interprétation.

Méthodes. Le fantôme utilisé représente une thyroïde muni d'un nodule froid et d'un nodule chaud. La gamma caméra utilisée est la Symbia S de Siemens muni d'un cristal fin (9.525 mm). Les paramètres d'acquisition initiaux pour cet examen sont : Matrice 128x128, zoom 2, arrêt à 250Kcps sur le détecteur avec un collimateur pinhole de 4mm de diamètre d'ouverture (do).

Résultats. Pour un même nombre de coups détectés, une diminution du temps d'acquisition de 54 % avec do=6mm et de 73 % avec do=8mm a été observée. Le contraste a quant à lui diminué de 9.6 % (do=6mm) et de 24 % (do=8mm) pour le nodule froid, de 21% (do=6mm) et de 34 % (do=8mm) pour le nodule chaud. Sur les images, les nodules sont plus visibles avec do=4mm (Figure 1.a) que pour do=6mm (1.b) ou do=8mm (1.c). Cette perte en résolution spatiale peut être rattrapée partiellement en passant d'une matrice 128x128 à 256x256 (1.d, do=4mm), sans induire de temps supplémentaire.

Conclusions. L'utilisation de l'ouverture 6mm pour le pinhole à la place du 4mm initialement utilisé, permet d'avoir une augmentation du signal et donc un temps d'acquisition significativement diminué. La modification de la matrice en 256x256 donne une plus-value en termes de résolution spatiale. Avec ces résultats et les recommandations², nous avons établi un nouveau protocole d'acquisition : 20 minutes de temps d'attente minimum après injection (temps de fixation du ^{99m}Tc dans la thyroïde³), utilisation d'une matrice 256x256, d'un zoom 2, d'un pinhole de 6mm d'ouverture.

*Intervenant

[†] Auteurs correspondant: nathalie.gaillot@reims.unicancer.fr

[‡] Auteurs correspondant: sofiane.guendouzen@reims.unicancer.fr

Mots-Clés: Scintigraphie thyroïdienne, NRD, ouverture collimateur

Place de la physique médicale en imagerie préclinique

Jean-Marc Vrigneaud ^{*† 1}

¹ Centre Georges-François Leclerc (CGFL) – CRLCC Georges-François Leclerc – 1, rue du Pr Marion
21079 Dijon Cedex, France

Il existe peu de physiciens médicaux qui interviennent dans un environnement préclinique en France. Pourtant, cet environnement présente l'avantage unique d'impliquer ingénieurs, chimistes, biologistes, pharmaciens, médecins et physiciens sur différents aspects d'une même étude. Tous ces aspects affectent la qualité des expérimentations et, si les contraintes réglementaires ne sont pas les mêmes qu'en milieu clinique, le besoin de standardisation commence aussi à se faire ressentir. Pour un physicien médical, le champ d'exploration est beaucoup moins verrouillé qu'en clinique et les approches peuvent être multiples (radiobiologie, dosimétrie, traitement d'image, instrumentation). Par exemple, les appareillages présents sur une plateforme d'imagerie préclinique nécessitent les mêmes attentions qu'en clinique. Bien que les enjeux soient différents, les procédures de contrôle qualité des équipements sont indispensables pour garantir la fiabilité et la reproductibilité des résultats expérimentaux. Les études de biodistribution, qui constituent la base de l'activité en préclinique, nécessitent des calibrages croisés entre l'activimètre, les équipements d'imagerie (TEP, TEMP) et le compteur gamma. Les études de quantification par imagerie nécessitent une attention particulière sur tous les tests en relation avec le calibrage de la concentration d'activité dans les images. Cependant, c'est probablement le versant recherche qui constitue le principal attrait pour un physicien médical motivé pour s'impliquer dans les problématiques précliniques. Dans le domaine de l'instrumentation par exemple, les systèmes précliniques (TEP, TEMP) requièrent des performances physiques adaptées à la taille des rongeurs habituellement utilisés. Pour optimiser le compromis résolution spatiale/sensibilité/taille du champ de vue en imagerie nucléaire, des solutions technologiques innovantes peuvent être plus facilement envisagées au niveau matériel et ce, à moindre coût. Au niveau logiciel, l'effet "boîte noire" des systèmes existants sur le marché clinique est beaucoup moins marqué et permet d'envisager des collaborations pour la manipulation des données brutes. Enfin, les solutions intégrées de traitement d'image sont souvent moins sophistiquées qu'en clinique et peuvent donc naturellement laisser plus de place aux développements d'applications dédiées.

Mots-Clés: préclinique, médecine nucléaire

*Intervenant

†Auteur correspondant:

Comparaison des algorithmes de reconstruction itératifs ” Bayesian-penalized likelihood ” (Q.Clear) et OSEM-TOF (VPFX) en imagerie TEP des cancers pulmonaires non à petites cellules : apport sur la définition des volumes tumoraux

Loriane Weber * ¹, Tommy Billoux ¹, Nicolas Sas ¹, Véronique Dedieu ¹

¹ Centre Jean Perrin (CJP) – Centre Jean Perrin – 58 rue Montalembert 63011 CLERMONT
FERRAND Cedex 1, France

Introduction. La tomographie par émission de positrons couplée au scanner (TEP-TDM) trouve notamment ses applications dans le diagnostic et le suivi thérapeutique de certains cancers. Les progrès technologiques ont permis l’essor du ” temps de vol ”, permettant entre autres une meilleure quantification des événements détectés. Ces progrès ont été accompagnés par l’amélioration du traitement des données, notamment avec l’implémentation des algorithmes de reconstruction tomographiques itératifs. En routine clinique, le plus utilisé est l’Ordered Subset Expectation Maximization, couplé au temps de vol (OSEM-TOF). Améliorant le contraste, l’augmentation du nombre d’itérations a aussi pour effet d’augmenter du bruit. Il est ainsi limité arbitrairement, avant convergence, créant un biais de quantification. Pour limiter cet effet, General Electrics (GE) a implémenté en clinique l’algorithme Q.Clear[1], utilisant un terme de régularisation bayésien dans la fonction objectif. Il lisse l’image reconstruite et améliore la quantification de l’activité ainsi que la qualité image.

Méthodes. D’abord, nous nous proposons de comparer différents algorithmes de reconstruction disponibles sur une installation TEP MI-DR (GE): VPFX (OSEM-TOF) et Q.Clear (Bayesian-penalized likelihood) où l’on fait varier le poids de la pénalisation. Ensuite, nous étudions différentes méthodes de segmentation du volume tumoral (manuelle, seuillage en SUV relatif ou absolu et seuillage adaptatif[2]). L’influence de chacune des méthodes employées (reconstruction/segmentation) est évaluée sur un fantôme de calibration (The NEMA IEC BodyPhantom SetTM) puis sur le volume tumoral de 12 patients atteint d’un cancer pulmonaire non à petites cellules.

Résultats. Comme attendu, nous constatons que la variabilité du fond diminue et le rapport signal-sur-bruit est amélioré par l’emploi des algorithmes itératifs, et d’autant plus que le poids de pénalisation est fort. Le Total Lesion Glycolysis (TLG) reste lui plutôt stable quelque soit les méthodes de segmentation et de reconstruction employées. On note l’apport du seuillage adap-

*Intervenant

tatif quant à la segmentation du volume tumoral, car il s'adapte à la méthode de reconstruction employée.

Conclusions. Même si l'amélioration de la qualité image offerte par les algorithmes de reconstruction itératifs n'est plus à prouver, les méthodes de segmentation classiques ne permettent pas d'intégrer cette amélioration dans la segmentation du volume tumoral. Ici, nous avons montré l'efficacité de la segmentation adaptative, qui permet de mieux refléter le volume tumoral en s'adaptant à la méthode de reconstruction employée. De plus, un tel seuillage est relativement simple à mettre en œuvre en routine clinique.

References

1. S. Ross, "Q.Clear," 2014.
2. U. Nestle *et al.*, "Target volume definition for 18F-FDG PET-positive lymph nodes in radiotherapy of patients with non-small cell lung cancer," *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, vol. 34, no. 4, pp. 453–462, Mar. 2007.

Extraction d'informations cinétiques à partir d'acquisitions TEP cérébrales à la 18F-FDOPA

Timothée Zaragori *¹, Laetitia Imbert^{1,2,3}, Julien Salvadori^{1,3}, Véronique Roch¹, Gilles Karcher^{1,3,4}, Pierre-Yves Marie^{1,3,4,5}, Antoine Verger^{1,3,4}

¹ GIE-Nancyclotep – SAS Genclis – 54500 Nancy, France

² Institut de Cancérologie de Lorraine, Vandoeuvre-lès-Nancy – Centre régional de lutte contre le cancer [CRLCC] – Unité de Physique médicale, Avenue de Bourgogne, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

³ Imagerie Adaptative Diagnostique et Interventionnelle (IADI) – Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : UMR5947/UMRS1254, Université de Lorraine – Université de Lorraine - CHU de Nancy, 4e étage, Tour Drouet, rue du Morvan, 54500 Vandoeuvre-les-Nancy, France

⁴ Faculty of Medicine – University of Lorraine, France – 54000 Nancy, France

⁵ Défaillance Cardiovasculaire Aiguë et Chronique (DCAC) – Centre Hospitalier Régional Universitaire de Nancy, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale : U1116, Université de Lorraine – Faculté de Médecine - 9 avenue de la Forêt de Haye - BP 184 - 54500 Vandoeuvre les Nancy, France

Introduction. Les indications de la Tomographie par Émission de Positions (TEP) aux acides aminés radiomarqués dans le domaine de la neurologie sont de plus en plus nombreuses notamment pour le diagnostic et le bilan initial de tumeurs cérébrales. La dernière classification "WHO 2016" (Organisation Mondiale de la Santé) portant sur les gliomes a permis d'intégrer des paramètres moléculaires, tels que la mutation des gènes IDH et la codéletion des chromosomes 1p19, corrélés aux résultats cliniques observés. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact pronostique de la 18F-FDOPA à partir d'enregistrements TEP dynamiques.

Méthodes. Les patients, adressés pour un diagnostic initial de gliome, ont été classés selon la classification de WHO 2016 en 3 groupes distincts : oligodendrogliome, astrocytome et glioblastome selon les résultats de l'anatomo-pathologie. Les acquisitions dynamiques ont été réalisées sur une caméra TEP Biograph6 True Point (Siemens Healthcare) après injection de 3 MBq de 18F-FDOPA/kg. Pour chacun des patients, un enregistrement de 30 minutes est réalisé permettant de suivre la captation du radiotracer au cours du temps. Les données ont été reconstruites en mode dynamique avec un algorithme itératif OSEM 2D (2 itérations, 21 sous-ensembles, filtre gaussien avec une LMH de 4 mm) et un échantillonnage temporel adapté permettant d'obtenir un compromis entre l'information cinétique et le bruit.

Sur les images statiques, une région d'intérêt (ROI) circulaire de 2 cm de diamètre, centrée sur le pixel d'intensité maximale de la tumeur, a été définie. Cette ROI a ensuite été appliquée à l'ensemble des phases dynamiques, permettant d'obtenir des courbes activité-temps de la fixation de la 18F-FDOPA dans la tumeur. La pente de la courbe a été obtenue par régression linéaire des données acquises entre la 10ème et la 30ème minute.

Résultats. Les images dynamiques ont été reconstruites en 30 phases d'une minute. Les courbes activité-temps ont été interpolées à partir de l'équation suivante $\mathbf{I}(t) = \mathbf{J}_0 + (\mathbf{J}_1 - \mathbf{J}_0) * (\mathbf{A} + (t/t_1)^q) / (\mathbf{B} + (t/t_1)^p)$ (1). Le coefficient de corrélation moyen R2 était de

*Intervenant

0,958. Le temps correspondant au maximum de la fixation tumorale était supérieur à 20 minutes pour les oligodendrogliomes et les astrocytomes IDH+ alors qu'il était d'environ 6 minutes pour les glioblastomes. Les pentes des courbes activité-temps étaient positives pour les oligodendrogliomes (+0,3 SUV/h), négatives pour les astrocytomes IDH+ (-0,8 SUV/h) et très négative (-6 SUV/h) pour les glioblastomes.

Conclusions. La TEP à la 18F-FDOPA pourrait donc permettre, à partir de l'analyse d'enregistrements dynamiques, d'extraire des paramètres quantitatifs permettant de stadifier de manière non invasive les différents types de gliomes chez des patients adressés pour un diagnostic initial.

Références

1. ELIE, Nicolas, LASSAU, Nathalie, PERONNEAU, Pierre, *et al.* *Method and system for quantification of tumoral vascularization.* U.S. Patent No 8,847,960, 30 sept. 2014.

Mots-Clés: TEP Dynamique, 18F, FDOPA, gliomes, cinétique

EN - Enseignement

Master de Physique Médicale - Université Grenoble-Alpes

Jean-François Adam ^{*† 1}

¹ Grenoble Institut des Neurosciences (GIN) – Université Joseph Fourier - Grenoble I, Inserm : U836 – UJF - Site Santé La Tronche - BP 170 - 38042 Grenoble Cedex 9, France

Structure actuelle, effectifs et origine des étudiants: Le parcours ” physique médicale ”, créé en 2004 , est depuis 2016, commun aux mentions Physique et Ingénierie de la Santé de l’université Grenoble-Alpes (UGA). Les cours du master 2 (M2) sont strictement identiques pour les deux mentions. Les cours prérequis à l’accession en M2 de physique médicale sont mutualisés, entre les mentions, au niveau du master 1 (M1). 20 étudiants environ par an sont inscrits en M2 de physique médicale, répartis équitablement sur les 2 mentions.

Les étudiants validant le M1 de physique ou d’ingénierie de la santé sont admis en M2 de physique médicale après entretien. Le recrutement n’est cependant pas restreint aux M1 associés de l’UGA. Ainsi nous accueillons des étudiants d’écoles d’ingénieurs en formation post diplôme ou en double cursus (ex : Polytech Marseille), des étudiants ayant validé un M1 de physique ou équivalent dans des filières extérieures à l’UGA, des étudiants en formation continue ou des étudiants étrangers. Les étudiants doivent justifier d’un cursus solide en physique et applications, et avoir validé des unités d’enseignement (UE) dont le contenu est un prérequis à l’admission au M2 de physique médicale.

Responsabilités pédagogiques : Le M2 de physique médicale est dirigé depuis la rentrée 2012 par JF Adam, physicien médical, maître de conférences (MCF) en physique à l’UGA. Il est épaulé par un conseil pédagogique constitué de 2 physiciens médicaux PhD, 2 PU/PH (Radiothérapie et biophysique), 2 MCF en physique et 1 chercheur INSERM en imagerie.

Volumes horaires : Au cours du 1er semestre (théorique) du M2, les UE suivantes sont vues: physique des rayonnements ionisants (76h), modélisation et simulation (85h); Radiothérapie (42h); principes physiques en imagerie médicale (32h); traitement d’images (32h); imagerie par rayonnements non-ionisants (32h); aspects dosimétriques en imagerie médicale (40h); radiobiologie et radioprotection médicale (40h); médecine Nucléaire (27h); Anglais (26h). Le 2nd semestre du M2 est un stage de 6 mois pour lequel les étudiants sont fortement encouragés à explorer une autre facette du métier de physicien médical, que celle vue en stage de M1 (établissements de santé, milieu industriel, milieu académique, stage à l’étranger), afin d’affiner leur projet professionnel.

Débouchés: Les étudiants ont une formation polyvalente de niveau ingénieur en physique des rayonnements ionisants ainsi qu’en imagerie médicale. Les débouchés concernent donc les entreprises du domaine des technologies et de l’informatique en santé ; les organismes de contrôle ainsi que les utilisateurs institutionnels. La formation donne également accès au cycle doctoral

*Intervenant

†Auteur correspondant: jean_francois.adam@esrf.fr

et aux carrières académiques dans les domaines de la physique appliquée à la santé. Enfin, le master étant agréé pour présenter les étudiants au concours du DQPRM, ceux-ci peuvent devenir physiciens médicaux, après avoir réussi le concours et validé les deux années de formation post-M2.

Mots-Clés: Master, Enseignement, Grenoble

EFOMP: A global Player in the Education and Training of Medical Physics Experts

Marco Brambilla *† ¹

¹ Medical Physics Dept. University Hospital “Maggiore della Carità” – Novara, Italie

Introduction Promoting of education and training programmes is one of the columns of the mission of EFOMP.

In this paper, I will briefly outline the initiatives taken from EFOMP in this field, namely:

The European School for medical Physics Experts (ESMPE)

The European Examination Board (EEB)

The participation of EFOMP in the EUTEMPE-RX network.

ESMPE

EFOMP organized in 2013 the first module which was targeted towards Medical Physicists who would like to achieve Medical Physics Expert status in the Nuclear Medicine subspecialty. Since then, nine editions of the school have been completed with more than 400 participants coming from all European countries.

The geographical distribution of participants demonstrate that this is perceived by participants as a European forum where state of the art information regarding technologies, methods and novelties in the field of medical Physics can be efficiently gathered and shared.

A distinctive tract of the school is to provide subsidized fees for a certain number of participants coming from low income European countries.

ESMPE at the second European Congress of Medical Physics – August 22, 2018, Copenhagen, Denmark

The main congress (ECMP2018) will take place from 23 to 25 August 2018 in Copenhagen. Satellite meetings will be held in conjunction with the ECMP2018 on the 22 of August. Among them, ESMPE organized three satellite meetings.

1. Statistics in Medical Physics

*Intervenant

†Auteur correspondant: marco.brambilla@maggioreosp.novara.it

2. Fundamentals of Nuclear Medicine Dosimetry

3. IMRT&VMAT planning in practice

EEB

In many of EFOMP's NMOs a local examination board has not been established. Currently medical physicists from such countries face difficulties in providing the necessary qualification evidence when they seek employment in other EU Member States.

The EEB has been established to facilitate the harmonization of medical physics standards throughout Europe, so facilitating the mobility of medical physicists

The EEB main aims are to introduce 2 European Diplomas in Medical Physics:

- EDMP (European Diploma for Medical Physics)
- EACMPE (European Accreditation Certificate for Medical Physics Experts)

The first round of EEB exams for Diagnostic and Interventional radiology took place in Prague July 6 and 7 2017.

The second EEB round of examinations will take place August 21 and 22 2018 in all three fields of Medical Physics and will be held in conjunction with the 2nd ECMP 2018 in Copenhagen.

EUTEMPE-RX

Eutempe-RX is a Network of excellent teaching centers, which provides dedicated courses at EQF level 8. The course contents are driven by the "Guidelines of the MPE project" with the support of a Scientific Advisory Board and they consist in balanced e-learning (40 hours workload) done through a Multicampus Educational and Training platform and face-to-face sessions (40 hours workload).

The educational tools and methods includes:

- Creation of "groups of learners" and guided tasks prior to the face-to-face moments
- Online communication & feedback between teachers and learners
- Interactive self-assessment test
- Up-to-date multimedia material
- Solutions for practical training
- Interactive exercises
- Databases of Material

Mots-Clés: ENSEIGNEMENT

Le Master en Physique Biologique et Médicale de l'Université de Lille

Fabrizio Cleri ^{*† 1}, Pier-Luca Palla ^{* ‡ 1}, Erwann Rault ², Thierry Sarrazin ²

¹ IEMN – Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Université des Sciences et Technologies de Lille - Lille I – avenue Poincaré - BP 60069 - 59652 Villeneuve d'Ascq Cedex - France, France

² Centre Oscar Lambret (COL) – Fédération nationale des Centres de lutte contre le Cancer (FNCLCC) – 59000 Lille, France

La spécialité Physique Biologique et Médicale (PBM) du Master "Physique" de l'Université Lille 1 offre aux étudiants un parcours intégré M1-M2, fortement centré sur l'interface nanophysique-biologie, en ligne avec les spécialités scientifiques locales. Il s'agit d'un cours de Master qui combine des compétences scientifique de très haut niveau issues des laboratoires universitaires, des instituts CNRS dédiés à la biologie (IBL), physique des lasers, atome et molécules (Phlam), microélectronique et nanotechnologies (IEMN), ainsi que l'Institut Pasteur de Lille, et le Cancéropôle comprenant le Centre de Lutte Contre le Cancer "Oscar Lambret", le SIRIC OncoLille, et le pôle Eurasanté, avec l'accès à des plateformes expérimentales uniques en France et en Europe. Cet ensemble de personnels et de compétences assure la formation de cadres scientifiques dans les domaines de la biophysique expérimentale et théorique, modélisation numérique en biologie et clinique, instrumentations et technologies en biophysique, radiothérapie, imagerie, dosimétrie physique, ainsi que synthèse, manipulation et caractérisation de nano-biomatériaux. Dès son début, la spécialité PBM était articulée sur deux parcours M2 issus d'un tronc commun en M1, notamment "Biophysique" et "Physique Médicale", ce dernier donnant une formation initiale au métier de physicien médical, et permettant l'accès au concours du Diplôme de Qualification en Physique Radiologique et Médicale (DQPRM). Les évolutions, en termes d'étudiants et d'enseignements, nous ont plus récemment orienté vers une fusion partielle des deux parcours. Le M1 donne une formation avancée et transversale en physique, couvrant la physique atomique et moléculaire, les propriétés électroniques et mécaniques de la matière, la thermodynamique et physique statistique, l'optique et la modélisation numérique. Au second semestre on trouve des unités de spécialité en physique nucléaire et ses applications biomédicales, dosimétrie et imagerie. Le M2 est une formation approfondie, avec un parcours unique au premier semestre couvrant des enseignements théoriques et la préparation au concours DQPRM, suivi par une bifurcation au second semestre, entre une orientation "Biophysique" avec des cours avancés théoriques et expérimentaux, et des stages dans les laboratoires de recherche ; et une orientation "Médicale", avec un stage long (5-6 mois) dans un département hospitalier de physique médicale. Les deux orientations peuvent également déboucher soit sur un emploi à niveau bac+5, soit sur une poursuite d'études, en Ecole Doctorale voire en DQPRM. Les statistiques des 8 ans de fonctionnement du master PBM de Lille parlent d'un taux de succès au concours DQPRM d'env. 34% des candidats, avec 50% du total des étudiants qui poursuivent des études supérieures (DQPRM

*Intervenant

†Auteur correspondant: Fabrizio.Cleri@isen.iemn.univ-lille1.fr

‡Auteur correspondant:

et/ou thèse), 20% qui vont compléter leur formation avec un autre master, et env. 20% en CDD/CDI dans les 12 mois qui suivent leur diplôme.

Mots-Clés: Master, Enseignement, Lille

Master mention Ingénierie Nucléaire parcours Physique et Technologies des Rayonnements pour l'Industrie et la Physique Médicale (PTR-IPM)

Véronique Dedieu ^{*†} ¹, C Guicheney ²

¹ Centre Jean Perrin – CRLCC Jean Perrin – 58 rue Montalembert, 63011 Clermont-Ferrand Cedex, France, France

² Ecole Universitaire de Physique et d'Ingénierie (EUPI) – Université d'Auvergne - Clermont-Ferrand I – Clermont-Ferrand, France

Depuis 2012, le master PTR-IPM, crée en 1993, est inscrit sur la liste publiée au JO des diplômes ouvrant au métier de Physicien Médical, habilitation renouvelée en 2016. La collaboration entre l'Université Clermont Auvergne à travers le master PTR-IPM adossé au Laboratoire de Physique Corpusculaire (LPC - UMR 6533 du CNRS/IN2P3) et le Centre Jean Perrin (associé à l'INSERM 1240) offre aux étudiants du master PTR-IPM un environnement d'excellence où les intervenants sont des professionnels ayant une activité clinique et de recherche (physiciens médicaux, praticiens...) et scientifique de haut niveau dans le domaine de la physique des rayonnements. L'AERES, pour la contractualisation 2012-2016 (vague B), a reconnu la pertinence de la formation, incluant la Physique Médicale, qui a obtenu une évaluation A+.

L'objectif scientifique est de donner aux étudiants une formation d'excellence dans le domaine des rayonnements ionisants et non ionisants. L'originalité sur le plan national réside dans l'approche successive des aspects de la radioprotection, de la modélisation/simulation, de l'ingénierie nucléaire et de la Physique Médicale. Ces domaines sont abordés, conformément à l'arrêté du 6 décembre 2011, sur les deux années du master. L'admission en M1 au master est principalement ouverte localement aux étudiants issus des licences mention " Sciences Pour l'Ingénieur " parcours " PTR-IPM ", mention " Physique " et mention " Physique-Chimie " de l'Université Clermont Auvergne et aux étudiants extérieurs titulaires d'une licence dont la thématique est en adéquation avec notre formation.

Cette formation permet de s'orienter vers des poursuites d'étude en thèse de doctorat et conduit également au métier d'ingénieur ou physicien spécialisé en particulier dans la détection des rayonnements, la modélisation et la simulation liées à la radioprotection et à la sûreté des installations en association avec les partenaires industriels AREVA, EDF et le CEA principalement. A travers les 11 mois de stage sur 2 années, les étudiants peuvent acquérir une solide expérience dans ce milieu professionnel.

Depuis 2004, 20 à 25% des étudiants se dirigent vers la préparation du diplôme préparant au métier de Physicien Médical (Diplôme de DQPRM). Depuis son habilitation, le master PTR-IPM a obtenu des résultats en progression tant au niveau du nombre d'admis (27% en 2013, 31% en

*Intervenant

†Auteur correspondant: veronique.dedieu@cjp.fr

2014, 60% en 2015, 68% en 2016, 50% en 2017 et 59% en 2018) que du classement de ces admis. Ces résultats encourageants montrent que la formation des étudiants est en bonne adéquation par rapport aux exigences du concours.

Mots-Clés: M2, Clermont

L'accueil des stagiaires DQPRM en EAP : expérience de l'APHM

Bardia Farman * ¹, Stéphanie Gempp Raucoules

¹ APHM, Service de Physique Médicale/Marseille – Université de la Méditerranée - Aix-Marseille II,
Hôpital La Timone, AP-HM – Marseille, France

Introduction. Les étudiants en DQPRM (Diplôme de Qualification en Physique Radiologique et Médicale) suivent pendant 6 mois des cours théoriques à l'INSTN (Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires) et complètent leur formation par un stage hospitalier de 22 mois dans un Établissement d'Accueil Principal (EAP), afin d'apprendre et valider les compétences requises pour leur futur métier de physicien médical. Le stage est réparti sur différents domaines d'activité à savoir la radiothérapie, la radiologie et la médecine nucléaire. L'encadrement des stagiaires est assuré par des physiciens médicaux expérimentés dans chaque domaine.

Méthodes. Avant leur arrivée, les étudiants sont invités à prendre contact avec le responsable de leur EAP, et si possible, organiser une première visite. À leur arrivée, après avoir souscrit aux formalités administratives (médecine de travail, attribution de blouses, carte de repas, accès informatique, ...), les stagiaires assistent à une réunion plénière permettant de rencontrer l'équipe encadrante. À cette occasion, le Livret d'accueil, préalablement envoyé, est détaillé. Celui-ci décrit l'organisation de l'unité de physique, ainsi que celle des services de radiothérapie et d'imagerie médicale dans lesquels les physiciens interviennent.

Lors de cette réunion, l'organisation du stage est expliquée et un planning annuel est défini sur les différents secteurs. Cette organisation permet une répartition du temps équitable entre la participation à la routine clinique et la réalisation des fiches d'activité encadrées par différents membres de l'équipe. Cette affectation permet une préparation et une réalisation optimale des fiches avec le référent désigné. Chaque encadrant fixe avec les stagiaires, le moment de la réalisation et de la validation de la fiche. Les stagiaires préparent les mesures à faire et la méthode de travail, et font valider le déroulement par le référent. Les mesures sont réalisées avec ou sous la surveillance de l'encadrant. Ceci permet de valider le niveau de maîtrise des compétences (non acquise, en cours d'acquisition ou acquise).

Les stagiaires participent également à la routine clinique. Il est important qu'ils s'intègrent parfaitement dans l'organisation de la routine du service (par exemple participer au staff du matin, s'intégrer au planning des contrôles qualité des accélérateurs linéaires, réaliser des contrôles pré-traitements, réaliser des contrôles en médecine nucléaire ou estimer l'exposition fœtale en radiologie). C'est une étape clef d'apprentissage du métier de physicien médical.

Conclusion. Une prise en charge efficace et respectueuse des stagiaires en DQPRM est essentielle pour que la formation sur le terrain soit optimale, humainement et scientifiquement. Il est important que les deux années de stage, premiers pas vers le métier de physicien médical, soient

*Intervenant

une réussite.

Mots-Clés: DQPRM, EAP, encardement, accueil

LE MASTER DE RADIOPHYSIQUE DE L'UNIVERSITE DE TOULOUSE

Xavier Franceries *† ¹

¹ Centre de Recherche en Cancérologie de Toulouse (CRCT) – Université Paul Sabatier (UPS) -
Toulouse III, Hôpital Purpan, CHU Toulouse, Inserm : U1037 – Place du Docteur Baylac - BP 3028 -
31024 Toulouse Cedex 3, France

Le master de radiophysique de Toulouse est implanté dans le département EEA pour des raisons historiques et il est une spécialité du master plus global de " Radiophysique Médicale et de Génie BioMédical " (RMGBM). Il est situé dans la faculté des sciences et d'ingénierie de l'université de Toulouse (Université Paul Sabatier).

De par sa position, il a vocation à former des étudiants des sciences de l'ingénierie à des métiers reliés à la physique médicale. Pour cela, il est adossé depuis 2 ans, à une licence EEA " d'Ingénierie pour le Soins et pour la Santé " (ISS) qui permet de faire découvrir le mode médical et plus particulièrement, la physique médicale, l'imagerie médicale, le génie biomédical, la physique et la mécanique du vivant dès la seconde année de la licence. Ce lien permet d'améliorer le recul à terme des étudiants sur ces domaines à l'interface science-santé, tout en leur permettant de voir si cela leur plaît de façon très précoce. Ainsi les enseignements de physique médicale débutent dès le premier semestre de la troisième année de licence, et ils se font de plus en plus présents à contrario du tronc commun au fur-et-à mesure du cursus jusqu'à la seconde année du master (M2).

En raison de l'environnement sur le site Toulousain que sont l'Institut Universitaire du Cancer de Toulouse (IUCT), le Centre Hospitalier Universitaire (CHU), les laboratoires INSERM du CRCT et de ToNIC, les laboratoires CNRS du LAPLACE et du LAAS, le lien avec les acteurs des interfaces sur site est favorisé aussi dans les enseignements par leur forte participation, ainsi que celles d'intervenants d'autres Centre de Lutte Contre le Cancer (CLCC) en France. Les visites sur site, dès la licence EEA ISS, se font là encore chaque semestre dans un lieu différent afin de concrétiser au mieux les enseignements et de les faire se rapprocher du monde médical. Les enseignements concernant la programmation ayant pour but la simulation d'interactions de rayonnements avec la matière sont renforcés, en utilisant le savoir-faire local des chercheurs des différents sites. De plus, de nombreux stages de 6 mois sont proposés dans le domaine aux étudiants du M2 - stage obligatoire pour leur second semestre - après avoir passé le concours du Diplôme de Qualification en Physique Radiologique et Médicale (DQPRM).

Les étudiants ayant réussi le master et le concours du DQPRM peuvent suivre la formation du DQPRM l'année suivante, sachant que la réussite au master est très fortement corrélée à celle du concours depuis toujours. Ou bien les étudiants peuvent choisir de réaliser une thèse ce qui est le cas de pratiquement 1/3 des étudiants en moyenne. Enfin certains choisissent les métiers de l'université, de la recherche ou de l'industrie et, ceux ayant réussi le master trouvent pratiquement tous un emploi dans les 6 mois.

*Intervenant

†Auteur correspondant: xavier.franceries@inserm.fr

Mots-Clés: Master, Toulouse, radiophysique

Encadrement des étudiants DQPRM en stage : retour d'expérience du Centre Eugène Marquis

Caroline Lafond *^{1,2,3}, Sophie Laffont³, Julien Bellec³, Olivier Henry³, Mickael Perdrieux³, Fanny Jouyau³, Nicolas Perichon³, Nolwenn Delaby³, Chloé Hervé³

¹ Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image (LTSI) – Inserm : U1099, Université de Rennes 1 – Campus Universitaire de Beaulieu - Bât 22 - 35042 Rennes, France

² INSERM (U 1099) – Inserm : U1099 – Rennes, France

³ Centre Eugène Marquis – CRLCC Eugène Marquis – Avenue Bataille Flandres-Dunkerque 35042 RENNES CEDEX, France

Introduction. Le Centre Eugène Marquis (CEM) fait partie des 31 établissements d'accueil principaux (EAP) français accueillant des étudiants préparant le Diplôme de Qualification en Physique Radiologique et Médicale (DQPRM) pour leur stage de 22 mois dans les trois domaines de la physique médicale: radiothérapie (RT), médecine nucléaire (MN) et radiologie (RX). Le CEM est accrédité par l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (INSTN) pour accueillir deux étudiants en 1ère année et deux étudiants en 2ème année. L'objectif est de partager le retour d'expérience du CEM sur l'encadrement des étudiants au cours de ces 22 mois de stage.

Méthodes. Lors de la première semaine de stage, une réunion de l'équipe transversale de physique est organisée afin de présenter les stagiaires DQPRM à l'ensemble des membres de l'équipe, de planifier les semaines de stage dédiées à chaque domaine et de définir les physiciens référents pour chaque activité à acquérir. Lors de cette réunion, l'organisation générale du service et celle spécifique aux étudiants DQPRM sont présentées. Le travail scientifique de deuxième année est défini parmi la liste des projets de l'équipe en concertation entre l'étudiant et le référent EAP. Ce travail est réalisé sous la supervision d'un physicien référent. Le fichier détaillant le planning fonctionnel de l'équipe possède des parties dédiées aux étudiants DQPRM pour faire apparaître de façon claire leur participation aux activités cliniques. Les étudiants DQPRM sont conviés à l'ensemble des réunions auxquelles les physiciens médicaux participent. Un point bimensuel de 30 min est organisé entre les étudiants et le responsable de l'EAP.

Résultats. Lors du 1er mois il est demandé à l'étudiant de s'entretenir avec le physicien référent de chaque activité afin d'organiser l'acquisition des compétences au cours de l'année. Sur le planning fonctionnel de 2017, les étudiants de 1ère année ont passé 49% des jours en RT, 20% en MN et 10% en RX. Ces pourcentages étaient de 51%, 16% et 11% respectivement pour les étudiants de 2ème année. Il existe une délégation possible de certaines tâches fonctionnelles aux étudiants DQPRM après validation d'un référentiel de compétence. Lorsque le sujet s'y prête, la rédaction du travail scientifique de 2ème année est privilégiée en anglais et selon un format d'article scientifique afin d'encourager la soumission dans un journal international à comité de lecture.

*Intervenant

Conclusions. En parallèle de l'acquisition des compétences de base du physicien médical, l'objectif des 22 mois de stage en milieu professionnel est de faire basculer le stagiaire DQPRM d'une position d'étudiant à une position de jeune professionnel de façon progressive et encadrée en leur apprenant le travail d'équipe, l'autonomisation, la responsabilisation et la gestion du temps dans le cadre d'activités fonctionnelles et de projets.

Mots-Clés: enseignement, physique médicale

MYRE : un système d’auto-formation en Radiothérapie

Jean-Baptiste Lavielle * ¹, Régis Ferrand ², Laetitia Milhas ¹, Florence Carles ¹, Philippe Dagueneil ¹, Luc Simon[†] ^{3,2}

¹ Département de Radiothérapie, IUCT-Oncopole (IUCT-O) – CRLCC Institut Claudius Regaud – 1 Av. Irène Joliot-Curie, 31100 Toulouse, France

² Département d’Ingénierie et de Physique Médicale, IUCT-Oncopole (IUCT-O) – CRLCC Institut Claudius Regaud – 1 Av. Irène Joliot-Curie, 31100 Toulouse, France

³ Centre de Recherche en Cancérologie de Toulouse, Equipe 15 (CRCT) – Inserm : U1037 – 2 Avenue Hubert Curien, 31100 Toulouse, France

Introduction. La dimension des services de Radiothérapie (RT) rend souvent délicate la formation continue interne des manipulateurs en électroradiologie (MER). Dans un grand centre, ils sont entre 40 et 50 et les plages horaires des Départements de RT sont souvent amples et il est difficile d’organiser une formation classique. De plus, les principaux acteurs qui assurent généralement cette formation (Physiciens Médicaux, médecins, MER...) sont également peu disponibles. Pourtant, le besoin en formation est très important. Les MER en RT ont en effet un rôle central dans la sécurité du patient. De plus, les technologies évoluent très rapidement et de nouveaux savoir-faire leur sont constamment demandés (nouvel appareil, nouvelle technique de traitement ou simple mise à jour d’un matériel ou d’un logiciel). Nous présentons ici le système MYRE (MY Recordable E-Learning), développé dans notre centre qui propose une solution complète d’auto-formation des MER.

Méthodes. Une base de données (BDD) a été développée sous ACCES. Elle regroupe l’ensemble des employés du service et environ 200 *micromodules* et assure la traçabilité et la requêtabilité de tout acte de formation (par employé, par module, par an...). Ces 200 *micromodules* sont de trois types. Il peut s’agir : 1. de simples procédures écrites du système de documentation institutionnel dont l’utilisateur doit prendre connaissance. 2. d’actes particuliers auxquels il faut simplement avoir assisté. 3. de cours en vidéos que nous avons réalisés sur le modèle des SPOC (Small Private Online Classes) d’une dizaine de minutes chacun. Ces derniers sont associés à des questionnaires (QCM) en ligne, avec autocorrection, c’est-à-dire que les QCM sont notés et que des explications sur les réponses correctes sont fournies. Le MER peut donc accéder au dispositif en complète autonomie (formation, évaluation, saisie et suivi des modules acquis).

Résultats. Entre janvier et mars 2018, environ 600 actes de formation ont été saisis dans le système. Des requêtes particulières ont été développées pour permettre au cadre de santé de RT d’éditer des listes spécifiques comme par exemple ” liste des MER ayant suivi tous les modules obligatoires d’un dispositif médical ”. Plusieurs MER sont impliqués dans le suivi du système et la réalisation des vidéos.

Conclusion. Une BDD pointant vers 200 documents (vidéos ou procédures) et permettant aux MER de se former en autonomie a été développée et déployée dans le service. Pour cette étude

*Intervenant

†Auteur correspondant: uhqd75@gmail.com

nous avons réalisé de nombreuses vidéos et avons observé que celles-ci sont efficaces pour exposer les concepts techniques ou abstraits alors que la procédure écrite reste plus adaptée pour la description de tâches. MYRE a été bien accueillie et jugée utile par les utilisateurs (résultats d'un audit interne).

Mots-Clés: SPOC, MOOC, Radiothérapie, Formation

Master 2 ” rayonnements ionisants et applications médicales ” de Nantes

Vincent Metivier * ¹

¹ Laboratoire SUBATECH (SUBATECH) – CNRS : UMR6457, IN2P3, Université de Nantes, IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire – 4, rue Alfred Kastler - 44070 Nantes Cedex 03, France

Introduction. Le master ” rayonnements ionisants et applications médicales ” de Nantes forme, depuis plus de dix ans, des spécialistes de l’utilisation des rayonnements ionisants et participe notamment à la formation de physiciens médicaux.

Méthodes. Le master rayonnements ionisants et applications médicales (RIA) est un des trois parcours du master physique fondamentale et applications de l’université de Nantes, co-accrédité par l’Institut Mines Télécom Atlantique (anciennement école des mines de Nantes). Les deux autres parcours concernent la recherche en physique subatomique et le démantèlement nucléaire. Il est porté par le laboratoire Subatech, seul laboratoire de physique et chimie nucléaire de Bretagne/Pays de la Loire. Le parcours RIA s’appuie également sur le service de physique médicale de l’institut de cancérologie de l’ouest (ICO).

Résultats. Le master RIA s’inscrit pleinement dans l’environnement nantais très favorable, en particulier autour de la médecine nucléaire, avec notamment le cyclotron Arronax, l’équipex ArronaxPlus, le labex IRON, ainsi que les équipes de recherche associées. De nombreux spécialistes (médecins, physiciens médicaux de l’ICO et du CHU, chercheurs CNRS, INSERM, Arronax) complètent les équipes d’enseignants-chercheurs pour former au mieux les étudiants du master. Depuis plus de dix ans, les étudiants du master RIA ont la possibilité de présenter le concours d’entrée au DQPRM et bon nombre d’entre eux sont devenus physiciens médicaux. Les autres peuvent poursuivre en doctorat ou intégrer directement le monde du travail, dans des grands groupes, des PME ou des start-ups. Les étudiants sont préférentiellement issus du M1 du master, même si des admissions en M2 sont possibles, pour des étudiants issus d’autres universités françaises ou étrangères. Un stage de longue durée complète la formation académique ; ce stage peut être réalisé en France ou à l’étranger (Canada, Australie, Espagne, Brésil,...), dans un laboratoire, une entreprise, un service hospitalier ou un centre de lutte contre le cancer.

Conclusions. Le master ” rayonnements ionisants et applications médicales ” de Nantes a été créé par des physiciens nucléaires de Subatech et des physiciens médicaux de l’ICO, du CHU et de l’INSERM. Il revendique son fort ancrage du côté de la physique et s’appuie sur un environnement nantais favorable et en forte évolution depuis dix ans. Il a participé à la formation d’un certain nombre de physiciens médicaux et a vocation à continuer dans les années à venir, tout en participant aux réflexions sur les évolutions du métier et de la formation associée.

Mots-Clés: Master RIA, Nantes, Formation

*Intervenant

Master 2 radiophysique médicale – Université Paris Saclay : recrutements, programme, environnement scientifique et devenir des étudiants

Charlotte Robert *^{1,2}, Monika Rebisz-Pomorska³, Alejandro Mazal⁴, Vincent Lebon⁵, Marie Poirier-Quinot^{6,7}, Emmanuel Durand^{2,7}

¹ INSERM U1030 Radiothérapie Moléculaire – Inserm : U1030, Gustave Roussy, Université Paris Sud - Paris XI – 114 rue Edouard Vaillant 94805 Villejuif, France

² Université Paris-Sud 11 - Faculté de médecine (UP11 UFR Médecine) – Université Paris Sud - Paris XI – 63, rue Gabriel Péri - 94276 Le Kremlin-Bicêtre cedex, France

³ Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (INSTN) – Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Université Paris-Saclay – CEA de Saclay F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France

⁴ Institut Curie – Institut Curie – 26 rue d'Ulm 75248 PARIS CEDEX 05, France

⁵ Service Hospitalier Frédéric Joliot (SHFJ) – Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives – Boulevard Dubreuil, 91400 Orsay, France

⁶ Université Paris-Sud - Paris 11 (UP11) – Université Paris Sud - Paris XI – Bâtiment 300 - 91405 Orsay cedex, France

⁷ Imagerie par Résonance Magnétique Médicale et Multi-Modalités (IR4M) – Université Paris-Sud - Paris 11, Hôpital Bicêtre, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8081 – Bât 220 - 91405 Orsay Cedex, France

Introduction. Le Master Radiophysique Médicale (RPM) de l'Université Paris Saclay (UPS) a pour objectif de donner aux étudiants une formation large sur les applications de la physique en médecine, aussi bien thérapeutiques que diagnostiques. Son originalité réside dans son orientation vers la recherche publique ou privée. Depuis 2015, il constitue un parcours du Master de Physique de l'UPS.

Méthodes. La Physique médicale est par nature une discipline d'interface et interdisciplinaire. Il faut donc avoir une exigence sur les compétences que doivent posséder les futurs professionnels de la radiophysique médicale. En Master 1 (M1), 2 unités d'enseignement optionnelles sont proposées aux étudiants : Bases physiques des rayonnements ionisants et Radiobiologie. Elles leur permettent de découvrir la thématique de la physique médicale tout en conservant une formation poussée en physique. En M2, l'ensemble des notions introduites sont renforcées via des unités d'enseignement dédiées à l'imagerie médicale, aux interactions rayonnements matière et à la physique de la radiothérapie. Des unités d'enseignement complémentaires tournées vers la simulation Monte-Carlo ou la radioprotection permettent d'offrir des débouchés supplémentaires aux étudiants. Depuis 2015, un module dédié aux Méthodes de la Recherche Scientifique a été intégré au 2ème semestre du Master en complément du stage de 6 mois.

Résultats. Une quinzaine d'étudiants sont recrutés par an dans le Master 2. Les étudiants sont

*Intervenant

issus pour moitié des M1 de l'UPS. Les autres étudiants ont une formation d'ingénieur ou un M1 de physique d'une autre université. Sur les dernières promotions, des médecins ont également intégré la formation. L'UPS se trouve au centre d'un des réseaux de recherche les plus importants dans le domaine de la physique médicale. Gustave Roussy, l'Institut Curie, l'IRSN et le CEA sont notamment fortement impliqués dans le Master et les stages. Par ailleurs, les responsables du parcours RPM ont des liens forts avec les services de physique médicale d'Ile de France et de province ainsi qu'avec de nombreux laboratoires nationaux. Concernant les écoles doctorales, les responsables du Master interagissent fortement avec l'ED PHENIICS et l'ED de cancérologie afin d'améliorer dans le futur l'articulation Master/Ecole doctorale et d'augmenter le nombre de bourses de thèse accordées. En termes de débouchés, sur les trois dernières promotions, environ 80 % des étudiants ont été diplômés, la moitié de ces étudiants intégrant directement le DQPRM, et 25 % à 30 % réalisant une thèse. Plusieurs étudiants ont par ailleurs trouvé des postes d'ingénieurs d'applications, ingénieurs de recherche ou aides physiciens.

Conclusions. Le Master 2 RPM met un accent fort sur la recherche. Cette orientation contribue au choix de la poursuite en thèse pour près d'un quart des étudiants. Les bons résultats au concours du DQPRM valident par ailleurs la qualité de la formation en physique, imagerie et dosimétrie.

Mots-Clés: Master 2, Enseignement

Formation des Physiciens Médicaux : Organisation actuelle et réingénierie du DQPRM

Amélie Roué * ¹, Manuel Bardiès[†] ², Bardia Farman[‡] ³, Vincent Marchesi[§] ⁴

¹ Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (INSTN) – CEA – CEA Saclay, 91191 Gif sur Yvette Cedex, France

² Centre de Recherche en Cancérologie de Toulouse, INSERM U1037 (CRCT) – CHU Toulouse, Hôpital Purpan, Inserm – Université Paul Sabatier, Toulouse, France

³ APHM/ Service de Physique Médicale – Hôpital de la Timone [CHU - APHM] – Marseille, France

⁴ Medical Physics Unit, Institut de Cancérologie de Lorraine (ICL) – Institut de Cancérologie de Lorraine – 6, Avenue de Bourgogne - 54519 VANDOEUVRE-LES-NANCY Cedex, France

Introduction. Depuis 1997, l'INSTN (Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires) et la SFPM sont associés pour former les professionnels de la physique médicale. Le DQPRM, formation qui a diplômé plus de 800 physiciens médicaux est en perpétuelle adaptation afin de suivre les enjeux et évolutions des métiers de la physique médicale.

Méthodes. La collaboration de l'INSTN avec les professionnels de la physique médicale, par l'intermédiaire du Conseil d'Enseignement de la formation, a pour but de rester en prise directe avec la profession pour veiller en permanence à maintenir l'adéquation du programme de formation avec les besoins du terrain. Ceci a permis de faire évoluer la formation, tout d'abord par l'allongement de la période de stage de 8 à 12 mois, puis depuis 2013 par la refonte de la formation sur 28 mois, avec une revue complète des programmes et un allongement significatif du stage (22 mois), ce qui nous rapproche des standards européens. Depuis la parution en janvier 2017, de l'ordonnance relative à la profession de Physicien Médical, le Conseil d'Enseignement de la SFPM et l'INSTN travaillent sur une organisation de la formation qui répondra à la nouvelle législation.

Résultats. Pour la rentrée 2019, sur une même durée de formation et selon le nouveau cahier des charges du Ministère de la Santé à paraître, de nombreuses nouveautés seront mises en œuvre. L'étudiant sera évalué sur des "compétences métier" tout au long de sa formation théorique et pratique, et une unité d'enseignement spécifique lui permettra de développer une analyse de situations professionnelles vécues lors du stage, orientée sur le développement de capacités réflexives et les savoirs acquis. De nouvelles fiches de compétence ont été créées, afin d'approfondir la formation en Imagerie et Médecine Nucléaire. Par ailleurs, les stages s'organiseront désormais en semestres de manière à permettre à l'étudiant une immersion totale dans les différents services.

Conclusions. Cette évolution majeure de la formation permettra de répondre aux nouvelles

*Intervenant

[†] Auteur correspondant: manuel.bardies@inserm.fr

[‡] Auteur correspondant: bardia.farman@ap-hm.fr

[§] Auteur correspondant: v.marchesi@nancy.unicancer.fr

exigences du Ministère de la Santé et s'alignera sur le modèle de formations des professionnels de santé. L'INSTN et la SFPM collaborent activement pour que cette transition s'opère dans les meilleures conditions, tout en restant à l'écoute des recommandations proposées à l'échelle européenne².

Références

1. Ordonnance n 2017-48 du 19 janvier 2017 relative à la profession de physicien médical, NOR : AFSH1632787R, *Journal Officiel du 20 janvier 2017*.
2. Caruana, C.J. *et al.* European Federation of Organisations for Medical Physics (EFOMP) Policy Statement 12.1: Recommendations on Medical Physics Education and Training in Europe 2014. *Physica Medica*. **30**, 598-603 (2014)

Mots-Clés: formation, compétences, réingénierie

Présentation du master mention "physique fondamentale et applications" parcours physique médicale de l'université rennes 1

Viviane Smith ¹, Nicolas Perichon ^{*† 2}, Christophe Odin ³, Jean-Pierre Manens ²

¹ Université Rennes 1 (UR1 / UFR SPM / IPR / DPM) – Université de Rennes 1 – 263 Avenue du General Leclerc CS 74205 35042 RENNES Cedex, France

² Centre Eugène Marquis – Centre Eugène Marquis – Rue de la Bataille Flandres Dunkerque CS 44229 35042 RENNES CEDEX, France

³ IPR UR1/UMR CNRS 6251 – Université Rennes1 - CNRS – Campus de Beaulieu Bât 11A 35042 Rennes Cedex, France

Introduction. Le master mention " physique fondamentale et applications ", parcours physique médicale (mention PFA-PM) délivré par l'Université Rennes 1 (UR1) a pour vocation de former des cadres de niveau Master 2 dans le domaine de la physique médicale et figure dans l'arrêté du 19 juillet 2017 parmi les formations permettant l'inscription au concours du DQPRM. Ce parcours, ouvert aux étudiants depuis septembre 2012, est né de la collaboration entre l'Institut de Physique de Rennes (IPR) et l'unité de physique du Centre Eugène Marquis (CEM). A l'interface physique/ingénierie/santé, il permet de développer et d'appliquer les méthodes de la physique au domaine de la santé.

Méthodes. Cette formation en deux ans permet, lors de la première année, d'approfondir les notions de base en physique fondamentale et de débiter une spécialisation dans le domaine de la physique appliquée à la santé. Au cours de la deuxième année, le parcours physique médicale permet la spécialisation par le biais d'enseignements en radiobiologie, dosimétrie ou encore imagerie médicale ; pour la plupart dispensés par des professionnels du domaine : physiciens médicaux, médecins ou ingénieurs notamment. Cette formation offre une ouverture vers des étudiants d'autres cursus au moyen d'enseignements mutualisés avec le parcours " Ingénierie Biomédicale de l'ESIR (Ecole Supérieure d'Ingénieur de Rennes) et le master SIBM (M1-M2 Signaux et Image en Biologie et Médecine). Par ailleurs la forte collaboration avec le CEM, les laboratoires spécialisés en physique et traitement d'image de l'UR1, les différentes plateformes et plateaux techniques de l'université et du Centre Hospitalo-Universitaire de Rennes offre une ouverture sur le monde professionnel. A l'issue de la période de formation théorique de 4 mois en deuxième année, un stage de 4 mois minimum est réalisé en milieu médical, en équipe de recherche au sein de laboratoire ou encore en entreprise. Cette immersion professionnelle permet à l'étudiant de mettre en application pratique les notions préalablement enseignées et d'apprendre à mener à bien un projet scientifique.

Résultats. Différentes statistiques obtenues auprès de l'Observatoire du suivi et de l'insertion professionnelle des étudiants (UR1) pour les étudiants formés depuis 2012 seront présentées.

*Intervenant

†Auteur correspondant: n.perichon@rennes.unicancer.fr

Celles-ci permettront d'illustrer les propos concernant le nombre d'étudiants, ainsi que leur devenir à l'issue de la formation (réussite au concours d'admission à la formation du DQPRM, poursuite d'études, embauche...).

Conclusions. Depuis septembre 2012, le Master mention PFA-PM forme chaque année une dizaine d'étudiants. A l'issue de leurs études, les diplômés exercent des métiers tels que : physicien médical, chercheur, enseignant-chercheur, ingénieur ou cadre (R&D, contrôle-qualité, logistique, instrumentation...). Ils travaillent en milieu hospitalier en particulier en tant que physiciens médicaux, en laboratoire de recherche, société de services ou industrie.

RE - Recherche

Le GdR Mi2B, un outil d'animation scientifique des thématiques nucléaire-santé au CNRS

David Brasse *† ¹

¹ Département Recherches Subatomiques (DRS-IPHC) – CNRS : UMR7178, IN2P3, université de Strasbourg – 23 rue du Loess - BP28 67037 Strasbourg cedex 2, France

Cette présentation a pour principal objectif de présenter le Groupement de Recherche " Outils et méthodes nucléaires pour la lutte contre le cancer " (MI2B), né en 2004 de la volonté de la direction de l'IN2P3 de clairement identifier les recherches interdisciplinaires au sein de l'Institut. Aujourd'hui le GdR MI2B, organisé par pôles scientifiques, déborde des frontières de l'IN2P3 et favorise les réflexions afin de promouvoir de nouvelles approches méthodologiques et instrumentales dans le domaine du nucléaire-santé pour le diagnostic et la thérapie.

Les principaux thèmes scientifiques abordés sont l'imagerie moléculaire, les thérapies innovantes qu'elles soient externes ou internes, les radionucléides liés aux approches théranostiques et les enjeux en radiobiologie.

- Le pôle imagerie : les discussions portent sur le développement et la généralisation des techniques d'imagerie moléculaires quantitatives multi-paramétriques pour permettre un diagnostic précoce et un traitement de plus en plus personnalisé des patients. D'un point de vue technologique, ceci impose d'améliorer de manière significative la sensibilité des techniques d'imagerie moléculaire, de réduire l'irradiation associée à leur utilisation, de développer des systèmes intégrés multimodaux, ainsi que des dispositifs d'imagerie dédiés.
- Le pôle radionucléide : il est important de stimuler la recherche associée aux radionucléides innovants dans une démarche théranostique afin d'assurer une plus grande disponibilité des radionucléides d'intérêt et des médicaments radiopharmaceutiques associés. Ceci se conçoit à la fois dans le cadre de projets de recherche précliniques et cliniques en phase précoce.
- Le pôle thérapie : d'une manière générale, les thèmes abordés par ce pôle sont le contrôle qualité de la délivrance du traitement, les modes innovants de délivrance de l'irradiation et l'optimisation de la planification de traitement. Le développement actuel de nouvelles approches en thérapie par particules chargées stimule les discussions sur l'amélioration de l'indice thérapeutique des traitements par rayonnement, c'est-à-dire l'augmentation du contrôle tumoral sans augmenter les complications aux tissus sains.

*Intervenant

†Auteur correspondant:

- Le pôle radiobiologie : d'un point de vue plus fondamental, les discussions portent sur les enjeux de la radiobiologie pour optimiser les protocoles thérapeutiques dans le cadre de particules chargées, d'améliorer la compréhension des mécanismes mis en jeu lors d'exposition à de faibles ou plus fortes doses absorbées. Un des volets de discussion porte également sur la modélisation du vivant et des modèles de prédiction associés.

Tout au long de l'année sont organisées des rencontres où les chercheurs de tout horizon peuvent discuter et débattre sur des problématiques scientifiques liées au domaine du nucléaire-santé. Quelques exemples seront présentés pour illustrer la présentation.

Mots-Clés: GDR, Mi2B, recherche

La physique médicale et l’approche ”science reproductible”

Ludovic Ferrer *† 1,2

¹ ICO René Gauducheau (ICO) – Unicancer – Boulevard J.MONOD 44805 ST HERBLAIN, France

² Centre de Recherche en Cancérologie Nantes - Angers (CRCNA) – CNRS : UMR6299, Inserm : U892, Hôtel-Dieu de Nantes, Université de Nantes – 1 Place Alexis-Ricordeau, 44000 Nantes, France

La physique médicale est une *discipline scientifique* étroitement liée à l’assurance de qualité des dispositifs médicaux, à l’optimisation des procédures d’imagerie diagnostique et de la délivrance de la dose absorbée en radiothérapie externe ou interne. Ces différentes tâches partagent un paradigme commun de *collecte* et de *traitement des données* générées et/ou calculées dans un univers où l’*informatique* tient une place centrale. De plus, ces tâches s’intègrent le plus souvent dans un *travail d’équipe* dans lequel l’*échange d’informations* et le *rapport des données* est un point important vis-à-vis de la qualité des résultats produits (transmissions du savoir, validation croisée, etc.).

La *réplication* de résultats expérimentaux est la *pièce angulaire* de toute discipline scientifique expérimentale. Toutefois, dans certains cas, la réplication expérimentale est impossible (climatologie, coûts importants des études, ...) et reproduire simplement les résultats à partir des données acquises et des méthodes utilisées permet à défaut de garantir une certaine qualité des résultats. Or, dans de nombreux domaines scientifiques, l’actualité récente [1] montre que de nombreux résultats présentés par des équipes scientifiques n’étaient pas retrouvés par d’autres équipes. Dans certains cas, des équipes ont été poussées à la rétractation de leur publication car elles avaient trouvé des erreurs dans le traitement de leurs données, amenant à des conclusions opposées. Les raisons sont multiples. Le traitement informatique des données par le biais de tableurs ou bien la modification manuelle des données ont été identifiés comme des sources récurrentes d’erreurs. En effet, à l’heure du tout-informatique, la tenue de *cahiers de notes de laboratoire* tend malheureusement à disparaître laissant la place à des documents informatiques divers (textuels, calculs, images, ...) éparpillés sur un ou plusieurs disques durs. Le travail en équipe devient vite un casse-tête avec la gestion des versions des différents documents produits par les membres de l’équipe.

De nombreux scientifiques, alertés par ces problématiques, ont publiés ces dernières années [2] des approches méthodologiques permettant de réduire les effets d’une utilisation quasi exclusive des outils informatiques en se basant paradoxalement sur des outils issus du monde du développement informatique.

Cette présentation vise d’une part à exposer les grandes lignes de ces approches illustrées de quelques exemples et d’autre part à pointer l’auditoire vers des ressources pour mettre en œuvre cette démarche.

*Intervenant

†Auteur correspondant: ludovic.ferrer@ico.unicancer.fr

Références

- 1 - Prinz F et al - 2011 - Believe it or not: how much can we rely on published data on potential drug targets? Nat Rev Drug Discov 10: 712
- 2 - Kitzes, J., Turek, D., & Deniz, F. (Eds.). (2018). The Practice of Reproducible Research: Case Studies and Lessons from the Data-Intensive Sciences. Oakland, CA: University of California Press

Mots-Clés: reproducible, science

French medical physicists & EJMP

Paolo Russo ^{*† 1}

¹ Università di Napoli Federico II, Napoli, Italy – Napoli, Italie

Physica Medica – European Journal of Medical Physics (EJMP) is the official journal of Société Française de Physique Médicale. In the last five years, France ranked second in the list of 57 countries contributing papers to EJMP, and article downloads from France are no. 7 in the list of 111 countries where EJMP is read. Five of the sixty Associate Editors of EJMP are based in France. EJMP is also the official journal of EFOMP and it aims at representing the reference scientific journal for all European medical physicists. EJMP is looking for continuous support from French medical physicists via submission of their best papers and by active participation in the editorial team activities. These include increasing the number of submissions, still limited with respect to the potential scientific impact of the large community of French medical physicists, as well as taking on new editorial tasks and roles. In this communication the Editor-in-Chief describes the current numbers and facts of EJMP and encourages his French colleagues, in particular the young medical physicists, to actively participate to the life of their scientific journal.

Mots-Clés: physica medica, recherche

*Intervenant

†Auteur correspondant: paolo.russo@na.infn.it

RE - Recherche

SFPM working group on DBT internal quality control

Julie Sage ^{*†} ¹, Mathilde Voyeau-Gautier, Nicolas Villani, Camille Guillerminet, Célian Michel

¹ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, Fontenay-aux-Roses (IRSN) – Ministère de l'écologie de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, Ministère de la santé, Ministère de la Défense, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi – BP17 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex, France

Introduction. The introduction of Digital Breast Tomosynthesis (DBT) within the French breast cancer screening program is forecast by the authorities in the near future. A regulatory internal and external quality control is an essential prerequisite to this introduction. The French Society for Medical Physics (SFPM) has appointed a working group in order to establish recommendations in the scope of DBT and synthetic_2D internal quality control. These recommendations need to stand for the specific French context, in France, mammography is essentially done in private centers that do not necessarily have competence in medical physics. Internal quality controls are therefore principally intended to be done by technicians under radiologist responsibility.

Methods. Literature has been reviewed and a feasibility study has been done. Then several metrics have been tested on a weekly basis for several months: acquisition parameters consistency, image score, SDNR, SNR, homogeneity and volume viewer lag test. These tests are consistent with the French regulatory internal quality controls defined for full field digital mammography (2D) and complement DBT quality controls recommended by EUREF1. Four phantoms have been evaluated: MTM 100, TOMOMAM, ACR 086 and GAMMEX DBT Phantom. Tests have been done on 3 systems from different brands: GEHC, HOLOGIC and SIEMENS.

Results. Each week, half an hour is needed for the tests. The results show that MTM 100, ACR 086 and GAMMEX DBT Phantoms are not discriminant. The visual method to evaluate image score shows an important variability of the results for 2D, synthetic_2D as well as DBT with coefficients of variation in the range of 0.1 to 0.4. Some of the metrics (SNR, SDNR, homogeneity) make it possible to detect system performance degradation. The volume viewer lag test has been abandoned due to technical constraints.

Conclusions. The tests requiring a short time and enabling to detect performance degradation are suitable to routine implementation in medical imaging centers. The study should be extended to all brands of DBT systems in order to refine the scope and methodology of internal quality controls and to establish acceptability criteria. The assessment of the phantoms needs to be deepened in order to stabilize the interpretation grid for visual image score analysis.

*Intervenant

†Auteur correspondant: julie.sage@irsn.fr

References

1. R an Engen, R.E. et al. Protocol for the Quality Control of the Physical and Technical Aspects of Digital Breast Tomosynthesis Systems. EUREF. version 1.01 June 2016.

Mots-Clés: Tomosynthèse, Contrôle de qualité interne

SFRO - Session SFRO/SFPM

Technique de suivi dynamique respiratoire (Dynamic Tracking DT) pour la SBRT: contrôle qualité et réduction PTV

Gaëlle Jimenez ^{*† 1}, Jocelyne Mazurier ^{*}

¹, Olivier Gallocher ¹, Delphine Marre ¹, Nicolas Mathy ¹, Daniel Zarate ¹,
Jeremy Camilleri ¹, Baptiste Pinel ¹, Christian Chevelle ¹, Denis Franck ¹,
Igor Latorzeff ¹

¹ Service Radiothérapie, Groupe Oncorad Garonne, Clinique Pasteur – CLINIQUE PASTEUR – rue de
la petite vitesse 31100 TOULOUSE, France

Introduction

La SBRT des lésions mobiles nécessite une gestion des mouvements respiratoires. Depuis 2014, l'accélérateur dédié SBRT (VERO, Brainlab-Mitsubishi) dispose d'une technique de suivi dynamique en temps réel de la tumeur : "dynamic tracking" (DT). Nous présentons cette méthode ainsi que les résultats obtenus pour le contrôle qualité (CQ), la réduction du volume traité et du temps de traitement.

Méthodes

La tête d'irradiation robotisée du VERO (6MV), munie d'un MLC (lames 5mm), suit en temps réel la cible, grâce à des mouvements gyroscopiques guidés par contrôle infra-rouge et radiologique.

Le DT a été utilisé pour les foies et pancréas (41 et 3 patients) et thorax (60 patients) dont le mouvement évalué par 4DCT (RPM Varian) est > 7 mm et après implantation d'un marqueur (Visicoil, IBA). La dosimétrie (TPS IPLAN de Brainlab) a été réalisée avec 6 à 8 faisceaux non-coplanaires et l'algorithme Monte Carlo pour les poumons sur la phase expiratoire. Les marges du PTV ont été calculées par la méthode de Van Herk et al. 2000.

Le volume des PTVDT (en utilisant le DT) a été comparé à celui PTVITV (obtenus à partir du MIP pour la méthode ITV (Internal Target Volume)) pour 60 patients. Les temps de traitements ont été évalués à partir des séances de 104 patients.

Les précisions mécaniques et dosimétriques du DT ont été évaluées avec les fantômes dynamiques QUASAR Respiratory Motion et CIRS 008A dynamic thorax, les films Gafchromiques EBT3 et le logiciel Doselab Pro, ainsi que l'analyse des fichiers log. Le CQ des 104 patients a été réalisé avec le fantôme mobile Brainlab et des films calibrés en dose.

*Intervenant

†Auteur correspondant: g.jimenez@clinique-pasteur.com

Résultats

Les marges PTV ont été évaluées à 5mm pour le poumon et pancréas et 8 mm pour le foie

La taille moyenne du PTVDT est 28.8cc (6.5 à 14.3 cc) et celle du PTVITV est 46.4cc (10.4 à 139 cc) soit une réduction de 40%.

La durée moyenne des séances en DT est de 25 min, inférieure à celle des séances avec la méthode ITV pour laquelle plusieurs CBCT de contrôle sont nécessaires. Le rythme respiratoire (fréquence et amplitude) des patients, souvent irrégulier pendant la séance et par rapport au 4DCT de référence, n'affecte pas la délivrance du traitement ni le suivi de la cible pendant le DT. Avec un recul de 4 ans, la tolérance clinique pendant et après la SBRT avec DT est excellente (1 cas pneumopathie radique (PR) symptomatique de grade 3 sur 60 patients - 8 PR asymptomatiques).

La précision mécanique du DT a été évaluée à 0.7mm et la précision dosimétrique < 1 mm.

Les CQ patients réalisés par films montre un accord entre le calcul TPS et les mesures par films tel que pour 95% patients, 95% des points ont un gamma inférieur à 1 (3%-1mm)

Conclusion

Cette technique permet de traiter tous les patients, même avec des rythmes respiratoires très irréguliers, dans une durée de traitement inférieure à des techniques plus classiques basées sur l'ITV, avec une précision mécanique et dosimétrique < 1 mm, avec un volume de PTV 40% plus petit que le PTV correspondant à la méthode ITV.

Mots-Clés: Dynamic Tracking, SBRT

Liste des auteurs

A

Aamir, Raja	224
Abdoul-Carime, H	184
Acosta, Oscar	146
Adam, Jean-François	254
Agostini, Hugo	65
Aillerès, Norbert	122
Al Masri, Aya	202, 213
Alapetite, Claire	74, 129
Alayrach, Maria Elena	21, 138
Alexis, Anthony	136
Ali, Yasmine	178
Allegrini, Oreste	67, 131
Amblard, Régis	67, 131
Amessis, Malika	74
Ammari, Samy	136
Anderson, Nigel	224
Annedé, Pierre	103
Arab-Ceschia, Florian	13, 19
Arnaud, François Xavier	37
Arnoul Jarriault, Armelle	95
Assam, Mehdi	15
Aubignac, Leone	55, 90
Autret, Damien	171
Ayadi-Zahra, Myriam	31
Aziza, Richard	144

B

Baddouh, Laila	175
Badey, A.	138
Badey, Aurélien	21
Bal, Laurence	220
Balosso, Jacques	157
Baltieri, Valérie	88, 164, 165, 167
Bannan, Ahmed	153
Barateau, Anaïs	146
Barbeiro, Ana Rita	68, 140, 150
Bardiès, Manuel	162, 240, 274
Barreau, Mihaela	171
Bartolucci, Laurent	99
Battini, Stéphanie	206, 213

Baudier, Thomas	31, 63
Baumard, Florian	101
Baydaoui, Redouane	216, 218
Becce, Fabio	222, 224
Bednarek, Coraline	17
Bellec, Julien	13, 19, 267
Ben Bouallègue, Fayçal	236
Ben Mahmoud, Sinan	234
Ben Salem, Lotfi	49
Benamer, Yassine	218
Benjaafar, Nouredine	120
Benkreira, Mohamed	15
Benyoucef, Ahmed	109
Bernard, Vivien	180
Bernier, Valérie	129
Berry, Isabelle	150
Berthelot, Kevin	136
Bertosi, Aurelie	53
Bertrand, Perrine	17, 97
Besbes, Mounir	49
Bessieres, Igor	55
Beuve, Michael	178
Bidault, Fabienne	55
Bieri, Oliver	193
Biggs, Elisabeth	238
Billoux, Tommy	61, 249
Birindelli, Gabriele	155
Biteghe, Sandrine	131
Bockel, Sophie	136
Bodez, Véronique	21, 138
Boissard, Philippe	63
Bolle, Stéphanie	129
Boudet, Julien	55
Boudghene, Frank	209
Boussaer, Marlies	25
Bouvier, Jeanne	19
Brambilla, Marco	256
Brasse, David	279
Brevier, Damien	128, 226
Brun, Thomas	51

Buchheit, Isabelle	39, 101
Burgaud, Laure	57
C	
Callonnec, Françoise	109
Calvo, Florent	184
Camilleri, Jeremy	45, 288
Caneva-Losa, Sandra	74, 99
Carles, Florence	269
Carnicer, Adéla	178
Caron, Jérôme	155
Carpentier, Stefaan	206, 211
Carrie, Christian	129
Cassol, Emmanuelle	240
Castera, Laurent	229
Cattin, Phillipe	193
Cayez, Romain	133, 199
Celicanin, Zarko	193
Chafa, Samy	191
Chaikh, Abdulhamid	157
Chajon, Enrique	13
Champoudry, Jérôme	15
Chargari, Cyrus	136
Charpentier, Marion	238
Chartier, Philippe	70, 113
Chatellier, Gilles	229
Chatrie, Frederic	68, 140
Chauvin, Maxime	41, 162, 173
Cherkaoui El Moursli, Rajaa	120
Chetaine, Abdelouahed	175
Chevelle, Christian	45, 288
Chevillard, Clément	148
Chouaf, Soufiane	142, 240
Cinquin, Philippe	204
Clarisse, Perrine	23, 111
Claude, Line	129
Cleri, Fabrizio	259
Cleuziou, Jean-Pierre	70
Coche-Dequeant, Bernard	129
Colnard, Claudine	57, 161
Colnot, Julie	72
Combes, Christele	224
Comte, Pauline	133
Corbice, Céline	17, 97
Cornelis, Francois	209
Costa, Emilie	99
Courrech, Florent	39, 101
Coussement, Gauthier	25
Crop, Frederik	133, 199
Cunrath, Anne-Laure	68

D

Daguenel, Philippe	269
Darréon, Julien	103
Dartiguemalle, Mathieu	74
Daviau, Paul-Alexandre	159
De Crevoisier, Renaud	146
De Ridder, Mark	25
Debelle, Julien	165
Debiton, Eric	178
Debuire, Pierre	122
Decaze, Pierre	109
Dedieu, Véronique	61, 249, 261
Degoul, Françoise	178
Dejean, Catherine	57
Delaby, Nolwenn	19, 267
Delattre, Eric	17, 97
Delbaere, Alexia	173
Desbat, Laurent	204
Deshayes, E	240
Deutsch, Eric	136
Didi, Samir	88
Dieudonné, Arnaud	229
Dimitriadi, Elli	105
Dipasquale, Giovanna	29, 107
Djibo-Sidikou, Abdourahamane	53
Doutre, Pascaline	80
Douvrin, Françoise	109
Dowling, Jason	146
Duarte, Sylvie	161
Dubos, Brian	111
Dubouloz, Angèle	27, 29, 107
Dubray, Bernard	109
Dubroca, Bruno	155
Ducassou, Anne	129
Dufreneix, Stephane	171
Dumas, Isabelle	136
Dumas, Jean-Luc	148
Dupuis, Pauline	31, 63
Durand, Emmanuel	272
Duval, Alain	76

E

Ea, Kim-Maly	76
Edet-Sanson, Agathe	109
El Madani, Saad	216, 218
Encaoua, Johan	17, 97
Engels, Benedikt	25
Erradi, Fatima Zohra	175
Escande, Alexandre	136
Estivalet, Stephane	92
Etard, Cécile	59

F

Fafi, Souad	180
Fares, Georges	173
Fargier-Bochaton, Odile	107
Farizon, B	184
Farizon, M	184
Farman, Bardia	263, 274
Fau, Pierre	103
Feketeova, Linda	184
Fenoglietto, Pascal	122
Ferrand, Régis	68, 129, 162, 269
Ferrer, Ludovic	231, 281
Feugeas, Jean-Luc	155
Feuillade, Julien	57, 161
Floquet, Vincent	186
Fontaine, Emmanuelle	17, 97
Fontaine, Jimmy	53, 234
Foulon, Bruno	84
Foulquier, Jean-Noël	33, 128
Fourcade, Marjolaine	236
François, Guillaume	21
Franceries, Xavier	68, 140, 150, 162, 265
Franck, Denis	45, 150, 288
G	
Gabelle Flandin, Isabelle	113
Gaillot-Petit, Nathalie	34, 115, 246
Gallocher, Olivier	45, 288
Galvan, Jean-Marc	204
Garcia, Robin	21, 86, 138, 157
Gardavaud, Francois	209, 226
Gardin, Isabelle	23, 109
Garnier, Eloise	119
Garnier, Guillaume	72
Garnier, Nicolas	67, 131
Gassa, Frederic	80, 82, 126
Gautier, Mathieu	57, 161
Gempp Raucoules, Stéphanie	263
Gensanne, David	23, 109, 111
Gerard, Anaïs	161, 186
Gervais, Louise	197
Gevaert, Thierry	25
Ghorpade, Vijaya	144
Girardi, Andrea	25
Giraud, Jean-Yves	70, 113, 157
Gonod, Mathieu	55, 90
Gosselin, Jean-Yves	84
Goudjil, Farid	129
Gouel, Pierrick	109
Goutain-Majorel, Cynthia	244
Greer, Peter	146
Grondin, Yannick	204
Grosperin, Céline	105

Grossiord, Eloïse	144
Gschwind, Régine	72, 105
Guendouzen, Sofiane	246
Guerin, Laura	206, 211, 213
Guibert, Geoffroy	78
Guicheney, C	261
Guillerminet, Camille	285
Guinement, Lucie	101
Guiral, Pierrick	204, 214
Gussenmeyer-Mary, Nicolas	209

H

Habrand, Jean-Louis	129
Haddad, Ferid	182
Hadj Henni, Ahmed	111
Haie-Meder, Christine	136
Hangard, Grégory	129
Henry, Olivier	19, 267
Herault, Joel	161, 178, 186
Herlevin-Gerard, Karine	39, 101
Hermann, Anne-Laure	229
Hermouet, Raphael	231
Hervé, Chloé	267
Hilali, Abderaouf	216, 218
Hindié, Elif	233
Huchet, Aymeri	129
Huet, Christelle	72
Husson, François	61, 148
Huyskens, Dominique	17

I

Ilonca, Alina-Diana	236
Imbert, Laetitia	251
Isambert, Aurélie	59

J

Jaccard, Maud	27, 29, 107
Jacquier, Alexis	220
Jaegle, Enric	21, 138
Jalade, Patrice	204, 214, 244
Jenny, Catherine	207, 242
Jimenez, Gaëlle	45, 288
Joly, Sebastien	234
Josserand Pietri, Florentin	47
Jouyaux, Fanny	267
Julian, Daniel	117, 142
Julien, Thibault	206, 213
Jurczak, Julien	39

K

Kafrouni, Marilyne	236
Kanoun, Salim	144
Kantor, Guy	155

Karcher, Gilles 251
 Kas, Aurélie 242
 Ken, Soleakhena 144, 193
 Keraudy, Katia 128
 Kerr, Christine 129
 Khamphan, Catherine 21, 138, 157
 Khodri, Mustapha 47, 180
 Kirkbride, Tracy 224
 Kotzki, P 240
 Koumeir, Charbel 182
 Koutsouvelis, Nikolaos 29, 107
 Krabch, Mohammed El Adnani . 120, 175

L

L'Homel, Baptiste 193
 Lépinoy, Alexis 84
 Labour, Joey 41
 Lacornerie, Thomas 133, 199
 Laffarguette, Julien 133, 199
 Laffont, Sophie 267
 Lafond, Caroline 13, 19, 146, 267
 Lagneau, Edouard 84
 Lamanna, Giorgio 27
 Lamoly, prisca 84
 Lanaspeze, Christel 95
 Laprie, Anne 129
 Largent, Axel 146
 Latorre, Artur 167
 Latorzeff, Igor 45, 288
 Lauzin, Yann 23, 111
 Lavielle, Jean-Baptiste 269
 Lazaro, Delphine 68
 Le Lann, Marie-Véronique 68, 140
 Le Rouzic, Gilles 238
 Lebon, Vincent 272
 Lebtahi, Rachida 229
 Leclercq, Cédric 88, 164, 165, 167
 Lefkopoulos, Dimitri 76
 Leni, Pierre-Emmanuel 105
 Leprince, Pascal 207
 Leroux, Agathe 113
 Leroy, Fabrice 211
 Lescut, Nicolas 84
 Leseur, Julie 129
 Leste, Jeremy 162
 Linca, Simona 111
 Lisbona, Albert 129
 Lu, Guo-Neng 204, 214

M

Märk, Tilmann 184
 Maaloul, Fouad 206, 211, 213

Madelis, Georges 34
 Maigne, Lydia 178
 Maisonobe, Jacques-Antoine 207, 242
 Malet, Claude 63
 Malgouyres, François 144
 Mana, Aurélia 57
 Manens, Jean-Pierre 276
 Maneval, Daniel 161
 Marchesi, Vincent 39, 101, 274
 Mariano-Goulart, Denis 236
 Marie, Pierre-Yves 251
 Marnouche, El amin 120
 Maroubi, Salima 128
 Marre, Delphine 45, 288
 Martinez, Paul 21, 138
 Massaria, Virginie 115
 Mathot, Michel 43
 Mathy, Nicolas 45, 288
 Mazal, Alejandro 99, 272
 Mazars, Pauline 86
 Mazurier, Jocelyne 45, 68, 150, 288
 Mendez, Simon 195
 Meneu, François 113
 Mesradi, Mohammed Reda 216, 218
 Metivier, Vincent 182, 271
 Meyrignac, Olivier 195, 197, 220
 Michel, Célian 285
 Milhas, Laetitia 269
 Miralbell, Raymond 27, 29
 Mkimel, Mounir 216, 218
 Moliner, Gilles 159
 Monseux, Anne 88, 164, 165, 167
 Mora-Ramirez, Eric 240
 Morel, Aurelie 122
 Moreno, Ramiro 195, 197, 220
 Moustamia, Anas 117
 Muracciole, Xavier 129
 Muraro, Stephane 142

N

Nalis, Julia 162
 Nguyen, Daniel 47, 180
 Nicolai, Philippe 155
 Nicoud, Franck 195
 Nigoul, Jean-Marc 65
 Nirrengarten, Manon 119
 Nomikossoff, Natacha 119
 Nouet, Philippe 107
 Nourreddine, Abdelati 120, 175
 Nunes, Jean-Claude 146

O

Odin, Christophe	276
Oger, Fanny	31
Ojala, Jarkko	157
Orlhac, Fanny	136
Orthuon, Alexandre	128

P

Péran, Patrice	191
Padovani, Laetitia	129
Page, Jonathan	155
Palla, Pier-Luca	259
Parent, Laure	68, 193
Peiffer, Flavien	165
Perdrieux, Mickael	267
Pereira, Helena	229
Perichon, Nicolas	267, 276
Petitfils, Aurélie	55
Peucelle, Cécile	161, 186
Pichard, Teddy	155
Pierrat, Noëlle	74, 148
Pinel, Baptiste	45, 288
Pirault, Nicolas	111
Piron, Berengere	159
Pittet, Patrick	204, 214
Poirier-Quinot, Marie	272
Poisson, Fanny	231
Pommier, Pascal	126
Posnic, Maryline	171
Pouget, Pascal	240
Prunaretty, Jessica	122
Puisseux, Thomas	195

Q

Quétin, Philippe	188
Quillet-Mary, Anne	144

R

Racine, Damien	222
Ralite, Flavien	182
Rault, Erwann	199, 259
Rebisz-Pomorska, Monika	272
Renaud, Germain	97
Retif, Paul	53, 188, 234
Reuzé, Sylvain	136
Reynaert, Nick	133, 199
Risser, Laurent	144
Rit, Simon	31
Robert, Charlotte	136, 272
Robilliard, Magalie	99, 124
Roch, Patrice	59
Roch, Véronique	251
Rodriguez, Miguel	164
Ronot, Maxime	229

Roque, Alexandre	34
Rossomme, Séverine	186
Roué, Amélie	274
Rousseau, Caroline	231
Rousseau, Hervé	195, 197, 220
Rouzaud, Michel	27, 107
Rozes, Arnaud	61
Russo, Paolo	283

S

Sage, Julie	285
Saidani, Intidhar	49
Saint-Jalmes, Hervé	146
Salbaing, Thibaud	184
Salem, Naji	103
Salleron, Julia	101
Salvadori, Julien	251
Sanchez-Garcia, Manuel	229
Sandt, Magali	80, 126
Santoro, Laure	240
Sarcy, Stephie	207, 242
Sarrazin, Thierry	259
Sas, Nicolas	249
Saunier, Fleur	101
Sauvinet, Robin	148
Savanovic, Milovan	33, 128
Schipman, Benjamin	84
Sempau, Josep	167
Seneclauze, Aurore	63
Serrano, Benjamin	67, 131
Servagent, Noel	182
Sewonu, Anou	195, 197, 220
Sihanath, Roddy	70, 113
Simeon, Sebastien	122
Simon, Luc	41, 68, 162, 173, 269
Smekens, François	178
Smith, Viviane	276
Sorel, Soizic	19
Soret, Marine	242
Sottiaux, Alain	88, 164, 165, 167
Sporea, Cristina	47
Stadler, Marine	169
Stephane, Muraro	117
Sun, Roger	136
Supiot, Stéphane	129

T

Taesch, Fabian	53
Tahiri, Maroine	218
Tallet, Agnès	103
Tamburella, Claire	78
Tanguy, Ronan	31

Tavolaro, Sebastian	209
Tensaouti, Fatima	129
Thariat, Juliette	157
Thureau, Sébastien	111
Tikhonchuk, Vladimir	155
Tiplica, Teodor	171
Tomsej, Milan	88, 164, 165, 167
Tournier, Aurelie	51
Trauchessec, D	240
Tripod, Jean-Paul	78
Tromson, Dominique	68
Tsoutsou, Pelagia	78
Tylski, Perrine	244

V

Valdenaire, Simon	122
Van Esch, Ann	17
Vanache, Didier	88, 164, 165, 167
Vande Woestyne, Maud	34, 246
Vandermaesen, Tiphaine	90
Vangvichith, Maëva	171
Vanquin, Ludovic	199
Varmenot, Nicolas	182, 231
Vasseur, Aurélien	84, 105
Vauclin, Sébastien	236
Vautier, Julien	76
Vera, Pierre	109
Verdun, Francis	222, 224
Verger, Antoine	251
Verrecchia, Emilie	234
Verstraet, Rodolfe	159

Vidal De Negreiros Da Silva, Thais Luana	214
Vidal, Marie	161, 186
Vieilleigne, Laure	37, 41, 68, 162, 169, 173
Vilgrain, Valérie	229
Villani, Nicolas	285
Villeneuve, Rémy	67, 131
Viry, Anais	222, 224
Voyeau-Gautier, Mathilde	285
Vrigneaud, Jean-Marc	248
Vuillod, Aurélie	244

W

Wagner, Antoine	133, 199
Wagner, Laura	188
Wang, Ruoxi	214
Weber, Loriane	249
Weber, Patrick	78

Y

Younan, Fouad	150
Younan, fouad	68
Younes, Tony	41, 173
Youness, Tony	162
Ysebaert, Loïc	144

Z

Zadro, Charline	220
Zaragori, Timothée	251
Zarate, Daniel	45, 288
Zefkili, Sofia	72
Zilli, Thomas	27, 29

