

ANNEE 2019

N°

**PATIENTS AND PHYSICIANS RADIATION PROTECTION DURING MINIMAL
INVASIVE PROCEDURE OF THE SPINE**

**RADIOPROTECTION DES PATIENTS ET DES MEDECINS AU COURS DES
INTERVENTIONS PERCUTANÉES DE LA COLONNE VERTEBRALE**

THESE

Présentée

à l'UFR des Sciences de Santé de Dijon
Circonscription Médecine

et soutenue publiquement le 5 juillet 2019

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

Par M. AVRIL JULIEN
Né le 15 août 1989
À Lyon 4^e

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à la disposition de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur.

Ceci implique une obligation de citation et de référencement dans la rédaction de vos travaux.

D'autre part, toutes contrefaçons, plagiat, reproductions illicites encourt une poursuite pénale.

De juridiction constante, en s'appropriant tout ou partie d'une œuvre pour l'intégrer dans son propre document, l'étudiant se rend coupable d'un délit de contrefaçon (au sens de l'article L.335.1 et suivants du code de la propriété intellectuelle). Ce délit est dès lors constitutif d'une fraude pouvant donner lieu à des poursuites pénales conformément à la loi du 23 décembre 1901 dite de répression des fraudes dans les examens et concours publics.

ANNEE 2019

N°

**PATIENTS AND PHYSICIANS RADIATION PROTECTION DURING MINIMAL
INVASIVE PROCEDURE OF THE SPINE**

**RADIOPROTECTION DES PATIENTS ET DES MEDECINS AU COURS DES
INTERVENTIONS PERCUTANÉES DE LA COLONNE VERTEBRALE**

THESE

Présentée

à l'UFR des Sciences de Santé de Dijon
Circonscription Médecine

et soutenue publiquement le 5 juillet 2019

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

Par M. AVRIL JULIEN
Né le 15 août 1989
À Lyon 4^e

Année Universitaire 2018-2019
au 1^{er} Avril 2019

Doyen :
Assesseurs :

M. Marc MAYNADIÉ
M. Pablo ORTEGA-DEBALLON
Mme Laurence DUVILLARD

PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS

			Discipline
M.	Sylvain	AUDIA	Médecine interne
M.	Marc	BARDOU	Pharmacologie clinique
M.	Jean-Noël	BASTIE	Hématologie - transfusion
M.	Emmanuel	BAULOT	Chirurgie orthopédique et traumatologie
M.	Yannick	BEJOT	Neurologie
M.	Alain	BERNARD	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Mme	Christine	BINQUET	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
M.	Philippe	BONNIAUD	Pneumologie
M.	Alain	BONNIN	Parasitologie et mycologie
M.	Bernard	BONNOTTE	Immunologie
M.	Olivier	BOUCHOT	Chirurgie cardiovasculaire et thoracique
M.	Belaid	BOUHEMAD	Anesthésiologie - réanimation chirurgicale
M.	Alexis	BOZORG-GRAYELI	ORL
M.	Alain	BRON	Ophtalmologie
M.	Laurent	BRONDEL	Physiologie
Mme	Mary	CALLANAN	Hématologie type biologique
M.	Patrick	CALLIER	Génétique
Mme	Catherine	CHAMARD-NEUWIRTH	Bactériologie - virologie; hygiène hospitalière
M.	Pierre-Emmanuel	CHARLES	Réanimation
M.	Pascal	CHAVANET	Maladies infectieuses
M.	Nicolas	CHEYNEL	Anatomie
M.	Alexandre	COCHET	Biophysique et médecine nucléaire
M.	Luc	CORMIER	Urologie
M.	Yves	COTTIN	Cardiologie
M.	Charles	COUTANT	Gynécologie-obstétrique
M.	Gilles	CREHANGE	Oncologie-radiothérapie
Mme	Catherine	CREUZOT-GARCHER	Ophtalmologie
M.	Frédéric	DALLE	Parasitologie et mycologie
M.	Alexis	DE ROUGEMONT	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
M.	Serge	DOUVIER	Gynécologie-obstétrique
Mme	Laurence	DUVILLARD	Biochimie et biologie moléculaire
M.	Olivier	FACY	Chirurgie générale
Mme	Laurence	FAIVRE-OLIVIER	Génétique médicale
Mme	Patricia	FAUQUE	Biologie et Médecine du Développement
Mme	Irène	FRANCOIS-PURSSELL	Médecine légale et droit de la santé
M.	Pierre	FUMOLEAU	Cancérologie
M.	François	GHIRINGHELLI	Cancérologie
M.	Vincent	GREMEAUX	Médecine physique et réadaptation
(Mise en disponibilité du 12 juin 2017 au 11 juin 2019)			
M.	Pierre Grégoire	GUINOT	Anesthésiologie – réanimation chirurgicale
M.	Frédéric	HUET	Pédiatrie
M.	Pierre	JOUANNY	Gériatrie

M.	Sylvain	LADOIRE	Histologie
M.	Gabriel	LAURENT	Cardiologie
M.	Côme	LEPAGE	Hépatogastroentérologie
M.	Romaric	LOFFROY	Radiologie et imagerie médicale
M.	Luc	LORGIS	Cardiologie
M.	Jean-François	MAILLEFERT	Rhumatologie
M.	Cyriaque Patrick	MANCKOUNDIA	Gériatrie
M.	Sylvain	MANFREDI	Hépatogastroentérologie
M.	Laurent	MARTIN	Anatomie et cytologie pathologiques
M.	David	MASSON	Biochimie et biologie moléculaire
M.	Marc	MAYNADIÉ	Hématologie – transfusion
M.	Marco	MIDULLA	Radiologie et imagerie médicale
M.	Thibault	MOREAU	Neurologie
M.	Klaus Luc	MOURIER	Neurochirurgie
Mme	Christiane	MOUSSON	Néphrologie
M.	Paul	ORNETTI	Rhumatologie
M.	Pablo	ORTEGA-DEBALLON	Chirurgie Générale
M.	Pierre Benoît	PAGES	Chirurgie thoracique et vasculaire
M.	Jean-Michel	PETIT	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
M.	Christophe	PHILIPPE	Génétique
M.	Lionel	PIROTH	Maladies infectieuses
Mme	Catherine	QUANTIN	Biostatistiques, informatique médicale
M.	Jean-Pierre	QUENOT	Réanimation
M.	Patrick	RAY	Médecine d'urgence
M.	Patrick	RAT	Chirurgie générale
M.	Jean-Michel	REBIBOU	Néphrologie
M.	Frédéric	RICOLFI	Radiologie et imagerie médicale
M.	Paul	SAGOT	Gynécologie-obstétrique
M.	Emmanuel	SAPIN	Chirurgie Infantile
M.	Henri-Jacques	SMOLIK	Médecine et santé au travail
M.	Éric	STEINMETZ	Chirurgie vasculaire
Mme	Christel	THAUVIN	Génétique
M.	Benoît	TROJAK	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
M.	Pierre	VABRES	Dermato-vénéréologie
M.	Bruno	VERGÈS	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
M.	Narcisse	ZWETYENGA	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie

PROFESSEURS EN SURNOMBRE

M.	Bernard	BONIN (Surnombre jusqu'au 31/08/2019)	Psychiatrie d'adultes
M.	Philippe	CAMUS (Surnombre jusqu'au 31/08/2019)	Pneumologie
M.	Jean-Marie	CASILLAS-GIL (Surnombre jusqu'au 31/08/2020)	Médecine physique et réadaptation
M.	Maurice	GIROUD (Surnombre jusqu'au 31/08/2019)	Neurologie

**MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES
PRATICIENS HOSPITALIERS DES DISCIPLINES MEDICALES**

			Discipline Universitaire
M.	Jean-Louis	ALBERINI	Biophysiques et médecine nucléaire
Mme	Lucie	AMOUREUX BOYER	Bactériologie
Mme	Shaliha	BECHOUA	Biologie et médecine du développement
M.	Benjamin	BOUILLET	Endocrinologie
Mme	Marie-Claude	BRINDISI	Nutrition
M.	Jean-Christophe	CHAUVET-GELINIER	Psychiatrie, psychologie médicale
Mme	Marie-Lorraine	CHRETIEN	Hématologie
M.	Damien	DENIMAL	Biochimie et biologie moléculaire
Mme	Vanessa	COTTET	Nutrition
M.	Hervé	DEVILLIERS	Médecine interne
Mme	Ségoène	GAMBERT-NICOT	Biochimie et biologie moléculaire
Mme	Marjolaine	GEORGES	Pneumologie
Mme	Françoise	GOIRAND	Pharmacologie fondamentale
M.	Charles	GUENANCIA	Physiologie
Mme	Agnès	JACQUIN	Physiologie
M.	Alain	LALANDE	Biophysique et médecine nucléaire
M.	Louis	LEGRAND	Biostatistiques, informatique médicale
Mme	Stéphanie	LEMAIRE-EWING	Biochimie et biologie moléculaire
M	Maxime	SAMSON	Médecine interne
M.	Paul-Mickaël	WALKER	Biophysique et médecine nucléaire

PROFESSEURS EMERITES

M.	Laurent	BEDENNE	(01/09/2017 au 31/08/2020)
M.	Jean-François	BESANCENOT	(01/09/2017 au 31/08/2020)
M.	François	BRUNOTTE	(01/09/2017 au 31/08/2020)
M.	Jean	CUISENIER	(01/09/2018 au 21/08/2021)
M.	Jean-Pierre	DIDIER	(01/11/2018 au 31/10/2021)
Mme	Monique	DUMAS-MARION	01/09/2018 au 31/08/2021)
M.	Jean	FAIVRE	(01/09/2018 au 21/08/2021)
M.	Claude	GIRARD	(01/01/2019 au 31/12/2022)
M.	Patrick	HILLON	(01/09/2016 au 31/08/2019)
M.	François	MARTIN	(01/09/2018 au 31/08/2021)
M.	Pierre	TROUILLOUD	(01/09/2017 au 31/08/2020)

PROFESSEURS DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

M.	Jean-Noël	BEIS	Médecine Générale
----	-----------	-------------	-------------------

PROFESSEURS ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE

M.	Didier	CANNET	Médecine Générale
M.	François	MORLON	Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE

Mme	Anne	COMBERNOUX -WALDNER	Médecine Générale
M.	Clément	CHARRA	Médecine Générale
M.	Benoit	DAUTRICHE	Médecine Générale
M.	Rémi	DURAND	Médecine Générale
M.	Arnaud	GOUGET	Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme	Lucie	BERNARD	Anglais
M.	Didier	CARNET	Anglais
Mme	Catherine	LEJEUNE	Pôle Epidémiologie
M.	Gaëtan	JEGO	Biologie Cellulaire

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme	Marianne	ZELLER	Physiologie
-----	----------	---------------	-------------

PROFESSEURS AGREGES de L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE

Mme	Marceline	EVRARD	Anglais
Mme	Lucie	MAILLARD	Anglais

PROFESSEURS CERTIFIES

Mme	Anaïs	CARNET	Anglais
M.	Philippe	DE LA GRANGE	Anglais
Mme	Virginie	ROUXEL	Anglais (Pharmacie)

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES

M.	François	GIRODON	Sciences biologiques, fondamentales et cliniques
Mme	Evelyne	KOHLI	Immunologie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIERS DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES

M.	Mathieu	BOULIN	Pharmacie clinique
M.	Philippe	FAGNONI	Pharmacie clinique
M.	Frédéric	LIRUSSI	Toxicologie
M.	Marc	SAUTOUR	Botanique et cryptogamie
M.	Antonin	SCHMITT	Pharmacologie

L'UFR des Sciences de Santé de Dijon, Circonscription Médecine, déclare que les opinions émises dans les thèses qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend ne leur donner ni approbation, ni improbation.

COMPOSITION DU JURY

Président

Monsieur le Professeur Frédéric RICOLFI

Membres

Monsieur le Professeur Jean-Marie CASILLAS

Monsieur le Professeur Klaus Luc MOURIER

Monsieur le Docteur Pierre-Olivier COMBY

SERMENT D'HIPPOCRATE

“Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions.

J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité.

Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.”

À notre Maître et Président du jury :

Monsieur le Professeur Frédéric RICOLFI

Vous m'avez fait l'honneur de me confier ce travail et de l'avoir dirigé. J'espère, dans un avenir proche, me montrer digne de la confiance que vous m'avez témoignée.

Veillez trouver ici l'expression de mon admiration et de mon immense respect.

À nos Maîtres et membres du jury:

Monsieur le Professeur Jean-Marie CASILLAS

Notre collaboration est essentielle dans la prise en charge diagnostique et thérapeutique des patients atteints de pathologie de l'appareil musculo-squelettique.

Vous me faites l'honneur de juger ce travail.

Veillez trouver ici l'expression de mes remerciements.

Monsieur le Professeur Klaus Luc MOURIER

Vous me faites l'honneur d'accepter de siéger dans ce jury.

Veillez trouver ici le témoignage de mon respect et de ma gratitude.

Monsieur le Docteur Pierre-Olivier COMBY

Fort de ta formation strasbourgeoise, tu as très fortement contribué à mon apprentissage des techniques de radiologie interventionnelle percutanée.

Merci pour ton investissement dans le service, ta fidèle disponibilité du dimanche soir malgré les 546 km de distance, les astreintes éreintantes et ta récente paternité.

Tu me fais l'honneur d'accepter de juger ce travail, toi qui t'intéresses à tout et même, depuis peu, à la radioprotection.

À **Angélique**, pour tes coups de pression indispensables... baignés de ton amour au quotidien. Notre passion pour la radiologie nous a permis de croiser nos chemins, à nous désormais de nous ouvrir au reste du monde. Merci pour ce 69(%). Love ya.

À **Mounie**, ma grand-mère chérie, tu n'auras eu de cesse de m'apprendre à viser l'excellence et de ne pas m'en contenter. Merci pour ta patience, ta gentillesse et ta bienveillance.

À mes parents **Pénélope** et **Éric**, pour votre éducation, votre philosophie de vie, cette passion pour l'athlétisme, les arts, les langues, les bancs de la fac, et enfin la rigueur que vous avez mystérieusement réussi à me transmettre. Maman, j'espère que tu ne trouveras pas de faute de frappe, de syntaxe ou d'accord. Papa, on est très fiers de te suivre aux Championnats d'Europe à Venise en septembre et peu importe si tes médailles envahissent le séjour.

À mes frères et sœurs **Valérie**, **Alexandre** et **Marion**, vos familles, à **Clément & Fanny**, **Arnaud**, **Sylvie**, **Rodolphe & Sarah**, **Tommy R.** et toutes tes conquêtes, pour votre précieux soutien depuis le début. Votre présence à mes côtés me rappelle au quotidien qu'il y a une vie qui commence dès lors qu'on franchit les portes de l'hôpital, la preuve en est fin août 2020 !

À ma tante **Sylvie** et mon oncle **Jean-Pierre** qui m'ont d'abord dissuadé d'embrasser cette carrière, puis immédiatement soutenu et encouragé lorsque tel a été mon choix. Un immense merci pour vos invitations répétées à vous rejoindre aux quatre coins du globe pour de merveilleux moments en famille. Désormais je partage largement votre peine.

À ma tante **Chantal** et mon oncle **Michel**, à mes oncles et tante d'adoption, **Véronique**, **Jean-Luc** et **Eric** pour votre accueil dans la capitale des Ducs de Bourgogne, vos conseils de vie, votre hospitalité et ces délicieux festins partagés.

À mes cousines et cousins, **Isabelle**, **Julie**, **Sophie**, **Charles**, **Pierre**, **Sabine**, **Bernard**, **Vincent** x 2 et leurs familles avec qui j'aimerais partager plus de temps. Les injustes événements récents me donnent encore plus l'envie de nous retrouver.

À **Françoise** et **Christian**, vous qui m'avez tout de suite accueilli à bras ouverts et intégré aux grands moments de votre vie de famille. Merci pour votre présence, vos conseils avisés et vos encouragements.

À **Antoine** et **Aurélia**, petit **Hugues** et ma toute petite **Jeanne** qui fait de moi un parrain comblé! De la rue Antoinette à la rue Vercingétorix on aura partagé tellement d'histoires... Je suis content que Dijon ait eu votre préférence.

À mon **Pierrot** et **ma Lulu**, ma petite **Chachou**, cet internat dijonnais aurait été bien moins aminé sans vous! Merci pour vos enseignements, cette énergie débordante, cette motivation inébranlable, ces Balthouz endiablés et bien arrosés. J'aurais pu passer une vie sans remarquer que le Café du Marché dispose du meilleur ensoleillement sur la place des Halles. Votre départ m'a permis de faire la connaissance de **Valérie** et **Denis**, non moins dynamiques et clubbeurs, épicuriens et professionnels. À Denis, merci pour ton encadrement pédagogique et ultra-sonographique, tes trucs et astuces, mais surtout... ton sens clinique.

Aux meilleurs colloc's **Flo, Tom** et **Paco**, des petits déj' hivernaux glaciaux à cause de la pitoyable isolation laissant rapidement place à une communicante chaleur humaine, des chasses contre Rattatac, des battles à Guitar Hero ou « n'oubliez pas les paroles », des bronzés à Courchevel, aux brunchs ensoleillés prisés sur la terrasse du Riyad... merci pour cette belle expérience ! #4RueDiderot.

À toute la bande des dijonnais, celle du départ amatrice de ventri'glisse à l'internat de Mâcon (**Béné & Martin, Sanaa** et **Antoine, Camille**) puis tous ceux qui s'y sont greffés (**Lucie & Beb, Lou & Bog, Jade, JD**) y ont ajouté des rires d'enfants (**Cam & Flo, Omb & Mathieu**), des sessions kite, le concert de Johnny.

À **Isabelle** et **Jean-Marc** qui, sur un coup de téléphone, m'ont accueilli chez eux, à deux pas de St Luc. Je m'y suis immédiatement senti chez moi. Un grand merci pour cette inoubliable bribe de vie, ces déjeuners dominicaux prolongés qui m'auront beaucoup appris, du fonctionnement des institutions européennes à la navigation aérienne, sans oublier le « Do you speak belge ? ». Merci à **Martine** d'avoir permis cette rencontre. Merci aussi de nous avoir tous rassemblés chez toi, au cœur de la roseraie, pour des soirées de service d'anthologie.

À tous ceux que je ne vois que trop rarement mais qui suivent mon cursus, **Taty, Arnaud** et **Flavia, Maxime**, et mes anciens co-externes lyonnais.

À mes co-internes, **Pauline, Anne-Solenne, Maxime** et **Grégoire** pour les sessions DES qui nous ont fait découvrir le Nord-Est français, ces galères de formation entrecoupées d'apéros radio et soirées péniches. Aux internes dijonnais des autres promos avec qui j'ai plaisir à travailler au quotidien.

Au service de Neuroradiologie du CHU de Dijon, aux médecins passionnés et passionnant, **Nath', Lucette, le Chavent, Briveton, Dr. Rabougri** et **Pierrot** notre « papa » aux conseils acerbes et tranchants, aux manips débordés des scans CTU et CTBCs, attentifs au PTI, résonnés en IRM, créatifs en RX. Au personnel d'entretien, **Sophie, Violette** et toute la team d'attaque de bonne heure et (souvent) de bonne humeur. À toute l'équipe des secrétariats, -1 et -2 pour votre patience, à souvent faire et défaire. Mention spéciale pour celles qui m'ont tout appris du fonctionnement de la Sécu en France **Claire, Gigi, Régine & Véro. Brigitte** la mascotte des services d'imagerie, au coup de pédalier redoutable. À mes regrettés chefs du -2, **M. Krause, Louis, PYG** et **la fistule** : merci, vous m'avez fait rêver ! Soyez rassurés, vos « fantômes » hantent les couloirs du service.

Au service d'imagerie du CGFL, secrétaires, manips et médecins pour votre accueil, votre gentillesse et votre disponibilité.

À toute l'équipe du vaste service d'imagerie des Cliniques Universitaires St-Luc, sous la direction de **M. Vande Berg**, merci pour votre accueil, votre encadrement pédagogique, votre patience... Merci à **Souad, Vicky, Najoi, Carla, Alice, Berny, Thibault, JP** et les autres assistants pour votre intégration, le partage de votre culture et ces soirées loin du Cotten®.

Au Dr. **A. Bertaut**, pour votre réactivité et votre aide méthodologique précieuse.

À ceux qui me guident depuis les Cieux, je vous admire pour vos parcours, votre exigence et votre détermination. **Mon Paulo**, ton départ a radicalement changé ma philosophie de vie. Laisse **Papou** gagner aux cartes ! **Babouche** a de la chance de t'avoir à ses côtés...

TABLE OF CONTENTS

LIST OF ADDENDUM TABLES AND FIGURES	12
ABBREVIATIONS AND ACRONYMS.....	13
INTRODUCTION.....	14
INTRODUCTION.....	16
MATERIALS AND METHODS	18
<i>Population</i>	18
<i>Fluoroscopes</i>	18
<i>Procedure</i>	19
<i>Instruments</i>	20
<i>Dose measurements</i>	20
<i>Data collection</i>	21
<i>Statistical analysis</i>	21
RESULTS	22
<i>Patient population</i>	22
<i>Procedure data</i>	22
<i>Patient radiation dose</i>	23
<i>Physician radiation dose</i>	24
DISCUSSION	25
CONCLUSION	30
REFERENCES.....	32
APPENDICES	34

LIST OF ADDENDUM FIGURES AND TABLES

Fig. 1 Installation of the patient for minimal invasive procedure of the spine.	34
Fig. 2 Traditional surgical instrument used for percutaneous vertebroplasty.....	34
Fig. 3 Box-plots of the patient mean radiation dose (millisievert) during vertebroplasty according to the body mass index (kg.m^{-2}).....	37
Fig. 4 Box-plots of physician mean radiation dose (microsievert) according to the operating time.....	38
Table 1. Patient demographics and intervention characteristics.	35
Table 2. Patient radiation dose per vertebra (millisievert) according to the type of intervention and the body mass index (kg.m^{-2}).....	35
Table 3. Patient (millisievert) and physician (microsievert) radiation dose per vertebra according to the number of operative levels.	36

ABBREVIATIONS AND ACRONYMS

ALARA: As Low As Reasonably Achievable

AP: anteroposterior

BMI: Body Mass Index

cm: centimeter

CT: computed tomography

ICRP: International Commission of Radiation Protection

KP: kyphoplasty

kV: kilovolt

mA: milliamperere

MIP(s): Minimal Invasive Procedure(s)

MRI: Magnetic Resonance Imaging

μSv: microsievert

mSv: millisievert

PMMA: polymethylmetacrylate

PV: percutaneous vertebroplasty

Sv: sievert

VCF(s): Vertebral Compression Fracture(s)

INTRODUCTION

En raison du vieillissement de la population, l'incidence des fractures vertébrales, essentiellement d'origine ostéoporotique, est en augmentation. À travers le monde, 1 400 000 événements se produisent chaque année, conduisant à des douleurs invalidantes, un décubitus prolongé et ses complications (thromboses veineuses profondes, escarres, diminution de la fonction respiratoire). Aux États-Unis, 700 000 fractures annuelles d'origine ostéoporotique sont à l'origine de recours aux antalgiques de palier 3 dans un tiers des cas, et sont responsables de 150 000 hospitalisations. La prévalence des fractures ostéoporotiques chez les femmes est élevée puisqu'elles représentent environ 26% des femmes de plus de 50 ans et 40% des femmes de plus de 80 ans.

Le traitement médical conservateur associant le port du corset, le repos au lit et la prise d'antalgiques est parfois insuffisant pour soulager les patients et éviter le clinostatisme. Les interventions percutanées mini-invasives de la colonne vertébrale regroupent les vertébroplasties et les kyphoplasties. Ces deux techniques basées sur l'injection, au sein du corps vertébral fracturé, de ciment à base de polyméthylméthacrylate, connaissent un succès croissant depuis la première vertébroplastie réalisée en France, par le Professeur Galibert, en 1984. En effet, elles permettent une réduction rapide et efficace de la douleur, limitent les complications liées au décubitus et évitent l'apparition ou la majoration d'une cyphose.

Cependant, ces techniques nécessitent l'utilisation de rayons X, rayonnements ionisants, aboutissant à des doses d'irradiation significatives pour le patient et l'équipe médicale, dont les effets secondaires ont été identifiés rapidement après leur découverte par W. Roentgen en 1895. Il existe deux types de risques liés aux rayons X: le risque stochastique et le risque déterminisme.

Le risque stochastique peut apparaître pour de faible dose d'irradiation, sans seuil. C'est la conséquence de modifications du génome cellulaire qui aboutissent à des cancers chez les sujets exposés et des modifications du phénotype dans leur descendance. *Le risque déterminisme* est lié à la mort cellulaire radio-induite dont le seuil varie en fonction du tissu atteint. Pour mémoire, une dose d'irradiation corps entier de 0,2 à 0,5 Gy conduit à une lymphopénie temporaire, alors qu'une dose corps entier supérieure à 6 Gy aboutit à une mort certaine.

La radioprotection est basée sur trois principes fondamentaux: la justification, l'optimisation et la limitation de dose.

Le principe de justification stipule que “l'introduction de rayonnements ionisants est justifiée par un bénéfice individuel ou sociétal suffisant rapporté aux effets secondaires auxquels ils sont susceptibles de soumettre les personnes.”

Le principe d'optimisation souvent dénommé ALARA, son acronyme anglais (as low as reasonably achievable), est à mettre en œuvre une fois la justification établie. Il est ainsi rédigé dans le Code de la Santé Publique : “L'exposition des personnes aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités ou interventions doit être maintenue au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre [...]”

Le principe de la limitation de dose stipule que “l'exposition d'une personne aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités ne peut porter la somme des doses reçues au-delà des limites fixées par voie réglementaire, sauf lorsque cette personne est l'objet d'une exposition à des fins médicales ou de recherche biomédicale.”

Ces limites ne sont pas les mêmes en fonction des catégories de population (travailleurs ou public). Elles sont exprimées en termes de valeurs limites annuelles de dose efficace (corps entier) et de dose équivalente (organe donné).

La réglementation française pour la protection des personnes contre les risques liés aux rayonnements ionisants résulte de la transposition de la directive 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013, au sein du Code du travail. En application du principe de limitation des doses, la valeur limite d'exposition annuelle corps entier pour les travailleurs de catégorie B est fixée à 6 000 μ Sv.

Bien que la littérature contienne un nombre important d'articles au sujet des procédures percutanées mini-invasives de la colonne vertébrale, il existe très peu de données de radioprotection du patient et du médecin au cours de ces interventions. À la lumière des effets secondaires des rayonnements ionisants précédemment cités et en raison du nombre croissant de vertébroplasties et kyphoplasties, les efforts de réduction de dose pourraient devenir un enjeu dans un futur proche.

INTRODUCTION

As the population continues to age, the treatment of vertebral compression fractures (VCFs) due to osteoporosis, trauma, metastases and myeloma has become increasingly prevalent (1). Every year worldwide an estimated 1.4 million VCFs, mainly due to osteoporosis, leads to pain, disability, pulmonary function reduction as well as high mortality (2,3). More than 700,000 osteoporotic VCFs occur yearly in the United States, representing approximately 26% of women over the age of 50 and 40% of women over 80 years of age, of which approximately 280 000 cause severe pain and 150 000 require hospital admission (2).

As for now, conservative non-surgical treatment of VCFs with back braces, drugs and bed rest still has shortcomings. Historically, surgical treatment was indicated in VCF patients with neurologic deficit or spinal instability, but the traditional open surgery is generally not recommended due to the high risk of hardware failure in patients with osteoporosis (4). Minimally invasive procedures (MIPs) in spinal surgery, percutaneous vertebroplasty (PV) and kyphoplasty (KP) have become increasingly popular since Galibert performed the first PV in France in 1984 (5). KP is the modification of the PV procedure, developed in 1998. It was introduced to manage the kyphotic deformity and restore the vertebral height. Both procedures rely on polymethylmetacrylate (PMMA) cement injection into the fractured vertebra for mechanical stabilization on the VCF. They both offer fast and sustained pain reduction while avoiding kyphosis progression. However, these surgical procedures require numerous fluoroscopic examinations to minimize the risk of complications related to cement leakage and require the operator to work close to the radiation source.

The harmful effects of ionizing radiation were recognized shortly after the discovery of the X-rays, by W. Roentgen in 1895 (6). There are two types of risk linked to radiation: the random risk and the direct risk.

The random risk is considered that may occur as a result of any radiation dose below 0.1 Sievert (Sv). Its onset is not determined by any threshold radiation. It is the consequence of genetic cellular modifications that result in cancers in exposed subjects and phenotype modifications in the subject's descendants (7).

The direct risk always appears above a certain dose and its seriousness increases with dose. It is linked to the cell death caused by the radiations. The onset threshold differs depending on the affected tissue. Levels of acute overall radiation associated with deterministic effects include the following: 0.2 – 0.5 Gy: temporary lymphopenia, 4.5 Gy: median lethal dose, > 6 Gy: death unavoidable (8).

The system of radiation protection that is used across Europe and worldwide is based on the recommendations of the International Commission of Radiation Protection (ICRP) and the International Commission of Radiation Units and Measurements (ICRU). The ICRP is based in the three fundamentals principles: justification, optimization and dose limitation.

The principle of justification requires that the introduction of a radiation source should result in sufficient individual or societal benefit to offset the detriment it causes.

The principle of optimization requires that the likelihood of incurring exposures, the number of people exposed and the magnitude of their individual exposure should all be kept as low as reasonably achievable (ALARA), taking into account economic and societal factors.

That third principle of the ICRP's system of protection is that of dose limitation (9). That basic safety standard specifies the dose limit for workers as 6,000 μSv in a consecutive twelve-months period.

Although the literature contains an impressive number of papers concerning PV, there are few data concerning fluoroscopy time during surgery or X-ray exposure dose to both the patient and the operator (1). In view of the previously cited radiation side effects and due to the increasing number of MIPs, efforts to reduce X-ray exposure may become a critical goal in the future.

The purpose of this article is to quantify radiation exposure to the patient and physician during MIPs using fluoroscopic technique, in order to achieve best practices to minimize exposure and mitigate long-term complications associated with radiation exposure.

MATERIALS AND METHODS

Population

Institutional review board approved this retrospective study. It was performed over a period of 12 months from January to December 2017 in our university hospital center, involving 110 patients and a total of 120 MIPs. Patients underwent single or multilevel MIPs for vertebral fractures due to osteoporosis, trauma, angioma, multiple myeloma, and spinal metastases. Exclusion criteria were infection, neural compression, neurological deficit and previous surgery at the involved vertebral body.

Patients were referred to our interventional radiologic unit after a clinical examination by their general practitioner, rheumatologist, rehabilitation physician or neurosurgeon, if they had a minimum back pain score of 6 on a 0 – 10 visual analog scale. A recent MRI of the lumbar spine was needed, since an hyper-intense signal on MRI T2 and/or STIR (short time inversion recovery) sequences was required for the definition of acute vertebral fracture

Fluoroscopes

All fluoroscopy-guided therapeutic injections were performed with a bi-planar digital fluoroscopy system with a frontal 20-cm flat-panel detector, a lateral 15-cm flat-panel detector (Allura Xper FD 20-15 CV Release 8.2 Clarity, Philips Medical System, Eindhoven, The Netherlands). Both real-time pulsed fluoroscopy at 7.5 images per second and exposed images at 2 images per second were used. Standard preselected exposure parameters were about 90 kV for the AP tube voltage and 75 mA for the AP tube current, 80 kV and 20 mA for the lateral tube. The equipment automatically starts with the low-dose setting, and a higher dose was not usually required. However, these parameters were modulated by the automatic exposure control and by the operator if necessary.

The operator stood on the left of the patient and the X-ray beam source was under the interventional table (anteroposterior plane), and on the right of the patient (lateral plane). In this way, radiologist position was standardized for each procedure. The fluoroscopes were used during level localization, instrument insertion into the vertebral body, and during application of radiopaque cement.

Procedure

All procedures were performed under general endotracheal anesthesia in the prone position (**Fig. 1**) with a bilateral approach. Four senior interventionists and 2 radiologist residents performed procedures. All interventional radiologists wore thyroid shields (0.5 cm of lead) and lead aprons (0.5 cm of lead on front and 0.25 cm of lead on the back), but no radiation-protective gloves or lead glasses. A mobile lead curtain was placed between the physician and the patient's back, to reduce facial radiation. The size of the fluoroscopic image was restricted to the smallest reasonable area: collimation was used in every procedure to see three or four vertebral levels as well as front and back 5 cm of the vertebral body.

The entry point of the spinal needle on the index pedicle was easily identified under the guidance of the two fluoroscopes. The operator, via foot pedals, controlled the antero-posterior and lateral projections. Magnification views were obtained at the discretion of each interventionist, using the ALARA concept to keep the radiation exposure as low as achievable for both patients and interventionists: the intensity of the incident beam was increased until the posterior vertebral wall and the pedicles were correctly identified. A metallic forceps served as an extension for the hand and fingers of the interventionist during needle guidance so that the hand and fingers were not in the path of the X-rays. During the initial phase of the transpedicular puncture, the needle was advanced in the AP projection, allowing discontinuous fluoroscopy, in order to minimize radiation exposure. When the needle reached the back wall of the vertebra body, both AP and lateral projection and discontinuous fluoroscopy guidance were required to advance the needle to its final position in the anterior portion of the vertebral body. After placement of the needles through which the cement was to be injected, a radiographic control was made to confirm the correct positioning. In addition, a bone biopsy of the vertebral body was systematically performed and sent to the pathology laboratory in order not to misunderstand an underlying tumor lesion. The cement was then injected, three minutes after the mix, thanks to a range extender that allows the operator's hand to remain outside the fluoroscopy field. It is made up of a 30 cm long metallic tube in which the cement flows, propelled by a metallic mandrel. During the injection, the cement flow is monitored using fluoroscopy to assess the absence of cement leakage that may lead to medullar compression. If technically feasible, the interventionist briefly left the fluoroscopy room for some of the image acquisitions and went to the control room, to observe the ALARA principle.

KP is a similar procedure, with one additional step, during which the inflation of the bone tamp by radio-opaque liquid restored the vertebral height and helped correct the kyphotic deformity. After deflation, bone cement is injected in the cavity made by the balloon device.

Instruments

PVs were performed in all patients via a bilateral pedicular – or extra-pedicular for the highest thoracic levels – approach using traditional surgical instruments (**Fig. 2**):

- A biopsy and cementoplasty set for spine (t'CD II Kit, THIEBAUD S.A.S., Margencel, France) with:
 - An injection needle with a diameter of 11 or 13 Gauge, a length of 125 mm
 - An 11- or 13-gauge-diameter, 125 mm-long coaxial introducer needle reinforced the injection needle
 - A biopsy needle
- A polymethylmethacrylate bone cement (Biomet® Bone Cement V, ZIMMER BIOMET, Valence, France)
- Delivery devices as:
 - A bone cement mixer and 6 syringes of 3 mL (M'nx, THIEBAUD S.A.S., Margencel, France).
 - A bone cement injector (X'tens, THIEBAUD S.A.S., Margencel, France).

KPs were also performed via a bilateral pedicular approach. They involved the percutaneous placement of an inflatable balloon device, a bone stamp, into the broken vertebral body (First Fracture Kyphopak® II Tray, Medtronic, Tennessee, USA). We used a pack with a bone cement and a mixer (KYPHON® Xpede™ Bone Cement and KYPHON® Mixer Pack, Medtronic, Tennessee, USA).

Dose measurements

Each interventional radiologist wore one thermoluminescent dosimeter (EPD MK2+, apvl, Saint-Cyr-sur-Loire, France), whose record threshold was 0,1 µSv and one electronic personal dosimeter changed every quarter (RPL, IRSN, Croissy-sur-Seine, France) placed under the lead apron over the left chest.

Effective doses to the patients in millisievert were estimated using the built-in dose-area product (DAP) meter and a conversion factors from International Commission on Radiological Protection (9), multiplying the conversion factor of $0.23 \text{ mSv.Gy}^{-1}.\text{cm}^{-2}$ by the DAP (in $\text{Gy}.\text{cm}^2$) displayed on the control panel of the fluoroscopy system (10).

Data collection

Data were obtained and crossed from three different sources: the radiological software (X-Plore Exploitation version 7.2.20.15), the patient's medical record (Dx Care 7.5, Medasys), and the picture archiving and communication system (Centricity Universal Viewer, GE Healthcare, General Electric Company, United States). The equipment has a built-in DAP meter that reports dose values for fluoroscopy and exposed images separately.

The competent radiological protection person collected physician radiation dose for each procedure from the thermoluminescent dosimeter. Every patient's medical and surgical data were recorded, including sex, age, BMI, etiology of vertebral fracture, number and index of treated levels. We also recorded the past history of MIP over the past five years.

For each intervention, procedure specific parameters were recorded, including time of surgery, fluoroscopy time, dose to interventionist, Kerma in air measured by both the AP and lateral fluoroscopic tubes, dose area product. The operative time was measured from the first projections that checked the index level to the last projections after removal of the spinal needles.

Statistical analysis

Quantitative variables were expressed as means with standard deviation and medians with scope. They were then compared by Student, Wilcoxon or ANOVA/Kruskal Wallis tests depending on the normality of the distribution and the modalities number.

Qualitative variables were described by percentages and compared using Chi2 or Fisher tests. All tests were bilateral and the threshold of significance was 5%.

Analysis was performed using SAS 9.4 software.

RESULTS

Patient population

One hundred and ten patients (44 men and 66 women) underwent 120 MIPs meaning that 10 patients (2 men and 8 women) underwent 2 interventions throughout the year 2017. Mean age was 70.0 ± 11.7 years old (range, 30 – 99) and mean BMI was $24.7 \pm 4.3 \text{ kg.m}^{-2}$. Most of the procedures were realized at a single level (n=64, 53.3%), and most of vertebral fractures were located at the thoracic spine (T5-T12, n=48).

During vertebroplasty, mean number of operative level was 2.0 ± 1.3 vertebrae when every kyphoplasty was practiced at a single level.

Osteoporosis was the main etiology of vertebral fracture among women (n=47, 63.5%) whereas trauma was the main cause among men (n=20, 43.5%). Twenty-two patients (18.3%), mainly due to osteoporosis, underwent two procedures over the past five years.

The clinical characteristics of the patients are summarized in **Table 1**.

Procedure data

PV was by far the most realized intervention, 111 procedures whose main etiology was osteoporosis (n = 62, 55.9%), while trauma was the main etiology of KP (n = 7, 77.8%).

Mean operative time was 38.9 ± 19.7 minutes per procedure corresponding to 23.5 ± 10.8 minutes per vertebra. KP was associated with an higher mean operative time per vertebra, and an higher total exposure time per vertebra 4.6 ± 1.1 vs. 3.5 ± 1.6 (p = 0.007), but no significant radiation raise, 8.9 ± 5.7 mSv per vertebra vs. 8.5 ± 8.6 mSv per vertebra during PV, p = 0.36.

Mean total exposure time was 6.3 ± 4.2 minutes per procedure corresponding to 3.5 ± 1.6 minutes per vertebra. For a single level MIP, mean exposure time was 3.9 ± 1.6 minutes, 3.5 ± 1.5 minutes per vertebra for a 2 levels MIP, and 3.0 ± 1.4 minutes per vertebra for a 3 or more levels MIP, with a statically significant difference (p < 0.001).

Mean number of treated vertebra was lower when the resident performed the surgery 1.8 ± 1.4 vs. 2.1 ± 1.2 for seniors, but the difference was not significant (p = 0.092).

Patient radiation dose

Including all procedures, patient mean radiation dose was 13.9 ± 12.3 mSv, corresponding to 8.5 ± 8.4 mSv per vertebra.

To obese patients, mean radiation dose per vertebra during vertebroplasty was significantly higher; 11.4 ± 8.5 mSv for patient with a $\text{BMI} \geq 25 \text{ kg.m}^{-2}$ vs. 6.7 ± 8.6 mSv for patient with a $18.5 \leq \text{BMI} < 25 \text{ kg.m}^{-2}$ ($p < 0.001$), whereas there was no significant difference to obese patients who underwent kyphoplasty (**Table 2**). For patients suffering of undernourishment, mean radiation dose was lower: 4.3 ± 2.4 mSv per vertebra, $p = 0.028$ (**Fig. 3**).

Regarding the cause of vertebral fractures, there was no significant difference of patient radiation dose: 13.3 ± 10.0 mSv (median value 11.4 mSv, range 1.8 – 47.7) for osteoporotic fracture vs. 14.4 ± 14.5 mSv (median value 8.9 mSv range, 1.7 – 64.7) for fractures due to angioma, cancer or trauma, $p = 0.54$.

Regarding the level of vertebral fractures, there was no significant difference of patient radiation dose per vertebra: 9.6 ± 11.5 mSv at thoracic spine, 6.2 ± 5.0 mSv at thoracolumbar spine and 8.6 ± 5.6 mSv at lumbar spine ($p = 0.079$).

Mean radiation dose per vertebra decreased with the number of operative level (**Table 3**).

Physician radiation dose

Including all procedures, physician mean radiation dose was $1.5 \pm 1.7 \mu\text{Sv}$, corresponding to $0.9 \pm 0.9 \mu\text{Sv}$ per vertebra. The longer the operating time, the greater the average dose received by the interventionist: $1.0 \pm 1.1 \mu\text{Sv}$ when the procedure lasted less than 38.9 minutes vs. $2.2 \pm 2.1 \mu\text{Sv}$ when the operating time was above the average time, $p < 0.001$ (**Fig. 4**).

Regarding the two types of procedures, there was no significant difference to physician radiation dose per vertebra: $0.8 \pm 1 \mu\text{Sv}$ for PV vs. $0.9 \pm 0.4 \mu\text{Sv}$ for KP, $p = 0.14$.

Operator mean radiation dose per level was not significantly different between resident ($0.67 \pm 0.53 \mu\text{Sv}$, median value = $0.56 \mu\text{Sv}$) and senior operator ($0.81 \pm 0.98 \mu\text{Sv}$, median value = $0.49 \mu\text{Sv}$), $p = 0.61$. Even though senior operators performed much more ≥ 3 levels MIPs than the residents ($n=25$, 35.7% vs. $n=9$, 18%, $p = 0.09$), there was no difference regarding the mean operative time.

However there was a significant difference regarding the number of operative level; the average was $1.0 \pm 1.1 \mu\text{Sv}$ for the single level procedures, $0.6 \pm 0.6 \mu\text{Sv}$ per vertebra for the two-levels procedures, and $0.7 \pm 0.7 \mu\text{Sv}$ per vertebra for the 3 or more levels MIPS, $p=0.041$ (**Table 3**).

DISCUSSION

Patient mean radiation dose was 13.9 mSv, similar to the few data reported in the previous literature (11). Physician average whole body radiation dose was 1.5 μ Sv per procedure also similar to the literature (11), allowing 4,000 procedures on a 12-months consecutive period, which is well above the hundreds of procedures realized every year in our hospital.

We recorded an increase of 69% radiation dose during PV for obese patients. *Amoretti et al.* results were similar since they noticed that there was a significant correlation between the patient weight and radiation of the left hand ($p= 0.03$), the left orbit ($p= 0.03$), and the thorax ($p= 0.02$) confirming the major influence of backscattered radiation (12). We registered no relation between the patient's BMI and the body effective dose to the operator. Otherwise, there was no significant correlation between the patient radiation dose and the vertebral level treated; *Amoretti et al.* obtained the same results (12). However, they registered a higher dose to the physician during kyphoplasty compared to vertebroplasty, a difference that was not found to be statically significant in our study (13).

In our study, there was no significant difference between residents and seniors regarding mean time exposure and therefore the efficient dose to the patient. It is paradoxical because the experience of the practitioner should reduce the operating time. It can be explained by the fact that mean number of operative level was higher when the senior performed the surgery. Besides, even though the resident perform the surgery, an experienced interventional radiologist is present in the operative room and provide advices; we suppose it can reduce the number of controls during vertebra localization and cement delivery that are the most radiating phases. *Gianfelice et al.* showed that the learning process associated with computed tomography fluoroscopy technology impacts procedure parameters by decreasing both mean procedure and fluoroscopy times, thereby decreasing radiation exposure to the patient and the operator, on a prospective analysis of 250 patients who underwent percutaneous biopsy (14).

The key strengths are as following: all MIPs took place in the same operating theatre, with the same surgical instruments and the same angiographic table. The position of the operator was also standardized.

We performed MIP with a bilateral approach because the aim was to fill the broken vertebra to the brim to prevent the risk of a new fracture. However, a recent meta-analysis compared the efficacy of unilateral and bilateral percutaneous kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fracture in a total of 791 patients from 10 studies. The pooled results showed a significant difference in mean radiation dose in patients between these two approaches (weighted mean difference -1.06 mSv, $p < 0.001$, in the unilateral KP group). However, the pooled results revealed no significant difference in X-ray exposure to the practitioner or clinical outcomes. Considering less operating time, lower mean radiation dose of patients, a lower rate of cement leakage and less surgery-related costs, the authors suggest that a unilateral KP approach is advantageous (15). In our study, mean operative time during KP was 47.1 minutes, lower than those reported in the bilateral KP group in the meta-analysis (57.8 minutes). *Sun et al.* went to the same conclusion with another systematic-review and meta-analysis. When cement volume, short-term general health, and the previously cited parameters are taken into consideration, unilateral kyphoplasty may be the better choice (16).

We used a bi-planar fluoroscopy because of its many benefits: it assesses a simultaneous biplane projection of the fractured vertebral body, it reduces the operating time and the patient radiation (17). Besides, there is no significant difference on the operator exposure compared to a single fluoroscopy, probably because it reduces the operating time (18). The X-ray source was beneath the patient for AP imaging and contralateral to the radiologist for lateral view. *Choi et al.* indicated the importance of X-ray source positioning in minimizing radiation exposure to the interventionist; in the three other situations, radiation exposure was 2,7-10 times higher (19).

A recent article from a translational medical review suggests that radioprotective agents working through a variety of mechanisms have the potential to decrease free radical damage produced by ionizing radiation. Radioprotective agents may be useful as an adjunct to medical imaging to reduce patient morbidity and mortality due to ionizing radiation exposure. Some radioprotective agents can be found in high quantities in antioxidant rich foods, suggesting that a specific diet recommendation could be beneficial in radioprotection (20).

In order to reduce the operator exposure, there are several parameters to be considered.

Distance from radiation source is a critical factor for reducing radiation exposure during spine surgery. However, during MIP, the operator has to work close to the irradiated area of the patient, especially during cement injection. Several new devices are available which allow the operator to inject the cement away from the field of fluoroscopy. *Komenushi et al.* demonstrated the use of a bone cement injector was useful in reducing the level of radiation exposure to operator during CT-guided vertebroplasty, compared to the use of a 1-mL syringe (21). In 2015, *Wang et al.* realized a clinical trial with a newly designed device used to minimize operator's radiation exposure during kyphoplasty. The use of a remote control injection system can significantly reduce surgeon's radiation exposure without affecting the efficiency of procedures (22). On the other hand, *Panizza et al.* demonstrated that the technique of distance cement delivery appears to be slower than the manual injection technique and it requires a more protracted fluoroscopic control in the lateral projection, so that this system entails a higher amount of dose to the patient (23).

The other parameter that plays a considerable part in the radiation dose is the exposure time. In this study, the mean total exposure time was 6.3 minutes. *Amoretti et al.* evaluated the radiation dose received by the practitioner when performing dual guidance PV, by CT and fluoroscopy, for specific anatomical sites (12). The technique of coupling the CT scanner and fluoroscopy reduces fluoroscopy time since their average time was 1.93 minutes for vertebroplasties, while it was from 5,4 to 60 minutes in the literature. *Konemushi's* team also used the CT scanner coupled with fluoroscopy and measured fluoroscopy times higher than Amoretti's: 7.54 and 6.66 min on average, respectively, without and with a cement injector (21). Other teams have used the scanner in continuous fluoroscanner mode and shown that the radiation doses are very high and can exceed 1 mGy/s (24–26).

Because of the need for universal precautions and the toxic nature of lead, the use of nondisposable lead devices has not proven practical. However, *King et al.* revealed that the use of a sterile bismuth drape reduce the scatter rates by five- to nine-fold. Also, the scatter, as expected, can be substantially reduced through the use of increased collimation (27). Furthermore, *Synowitz et al.* emphasized the importance of surgeons wearing lead glove protection on their leading hands during percutaneous vertebroplasty procedures and demonstrated a 75% reduction rate of exposure to radiation (28). According to *Von Wrangel et al.*, the results are more moderate, because wearing protective gloves would reduce radiation dose to the hands by 30-40% (11).

Protective devices, such as thyroid shields and body lead aprons, when worn consistently, reduce radiation dose exposure. *Rampersaud et al.* demonstrated a 98% reduction in chest exposure (69.7 to 1.05 mrem/procedure) with apron shielding (29), while *Ahn et al.* demonstrated respective decreases of 94.2% and 96.9% for chest and thyroid with appropriate shielding (30). Lead aprons should have at least 0.25 mm lead equivalence on the back and front. *Struelens et al.* registered, in a multi-center study, a median left eye dose of 34 μ Sv, but a maximum of 836 μ Sv, a median dose to the right finger of 118 μ Sv but with a maximum of 7.7 mSv (31). Annual dose to the hand assessed by the cumulated doses almost reached the annual dose limit of 500 mSv, while annual dose to the eyes exceeded the lens dose limit of 20 mSv per year. In the light of these results, the use of lead glasses is strongly recommended for protection of the eyes.

There are some limitations in our study. Firstly, since it was a single-center and retrospective study and since only 110 patients were included, the sample size was still relatively small and some result values may lack power. Secondly, there were inconsistencies in the operating time or physician radiation dose that may have a negative influence on the reliability of important results. Thirdly, the results of this study have to be moderated because real dose exposures to patients were estimated by conversion of the dose-area product. Fourthly, we only took an interest to the radiation dose delivered to the chest; we did not measure the doses delivered to the left eye and the right hand that are the 2 most irradiate areas. Lastly, the intensity of the X-ray beam was modulated by the physician, which can lead to variability between procedures.

CONCLUSION

Mean radiation dose to patient and physician recorded in our study do not exceed the values reported in the previous literature. There was a significant correlation between the patient's weight and patient radiation dose confirming the major influence of scattered radiation. Unilateral approach can be an interesting alternative to obese patients or to patients regularly monitored by ionizing radiation.

Since the recommendations will change in 2021, a prospective study will be necessary to assess the radiation dose to lens and extremities.

THESE SOUTENUE PAR M. AVRIL JULIEN

CONCLUSIONS

Les fractures vertébrales représentent un problème socio-économique manifeste et peuvent dans les situations les plus défavorables être responsables de douleurs invalidantes, de perte d'autonomie, d'hospitalisation prolongée et d'un recours aux antalgiques puissants.

Les procédures percutanées mini-invasives de la colonne vertébrale connaissent un véritable essor depuis plusieurs années portées par leur efficacité antalgique immédiate et durable, et par l'augmentation de l'incidence des fractures vertébrales d'origine ostéoporotique liées au vieillissement de la population. Ces procédures utilisent des rayonnements ionisants dont l'exposition répétée n'est pas sans conséquence pour les patients ou l'équipe médicale.

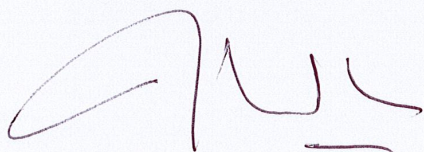
L'obésité du patient est associée à une augmentation significative de la dose d'irradiation corps entier reçue par le patient (11,4 milli-Sievert pour les patients dont l'indice de masse corporelle est supérieur à 25 kg.m^{-2} contre 6,74 mSv pour les patients dont l'IMC est compris entre 18,5 et 25 kg.m^{-2} , soit une majoration de 69%) lié à l'importance du rayonnement rétrodiffusé.

La dose annuelle d'irradiation corps entier reçue par les neuro-radiologues est faible (environ $150 \mu\text{Sv}$ sur une période de 12 mois consécutifs), inférieure aux limites annuelles fixées pour le personnel de catégorie B, soit $6\,000 \mu\text{Sv}$.

Il sera nécessaire de renforcer la vigilance en matière de radioprotection pour les patients obèses ainsi que pour les patients ostéoporotiques sévères susceptibles de bénéficier de plusieurs interventions percutanées de la colonne vertébrale à intervalle rapproché.

Par ailleurs, il conviendra de mener une étude qui s'intéressera aux doses équivalentes reçues par le cristallin et les extrémités du médecin, afin de s'assurer qu'elles ne soient pas un facteur limitant le nombre d'intervention annuelle pratiquée par chaque médecin.

Le Président du jury,



Pr. F. RICOLFI

Vu et permis d'imprimer
Dijon, le 04/06/2019
Le Doyen



Pr. M. MAYNADIÉ

REFERENCES

1. Ensrud KE, Schousboe JT. Clinical practice. Vertebral fractures. *N Engl J Med.* 28 avr 2011;364(17):1634–42.
2. Francis RM, Baillie SP, Chuck AJ, Crook PR, Dunn N, Fordham JN, et al. Acute and long-term management of patients with vertebral fractures. *QJM Mon J Assoc Physicians.* févr 2004;97(2):63–74.
3. Cooper C. Epidemiology and public health impact of osteoporosis. *Baillieres Clin Rheumatol.* oct 1993;7(3):459–77.
4. Chen C, Chen L, Gu Y, Xu Y, Liu Y, Bai X, et al. Kyphoplasty for chronic painful osteoporotic vertebral compression fractures via unipedicular versus bipedicular approachment: a comparative study in early stage. *Injury.* avr 2010;41(4):356–9.
5. Galibert P, Deramond H, Rosat P, Le Gars D. [Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty]. *Neurochirurgie.* 1987;33(2):166–8.
6. Matanoski, GM, Sartwell, P, Elliott, E, Tonascia, J, Sternberg, A. Cancer risks in radiologists and radiation workers. Vol. 18. United States;
7. Almén A, Lundh C, Båth M. Challenges assessing radiation risk in image-guided treatments-implications on optimisation of radiological protection. *J Radiol Prot Off J Soc Radiol Prot.* sept 2018;38(3):1064–76.
8. Paquet F, Bailey MR, Leggett RW, Lipsztein J, Marsh J, Fell TP, et al. ICRP Publication 137: Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. *Ann ICRP.* déc 2017;46(3–4):1–486.
9. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP.* 2007;37(2–4):1–332.
10. Compagnone G, Giampalma E, Domenichelli S, Renzulli M, Golfieri R. Calculation of conversion factors for effective dose for various interventional radiology procedures. *Med Phys.* mai 2012;39(5):2491–8.
11. von Wrangel A, Cederblad A, Rodriguez-Catarino M. Fluoroscopically guided percutaneous vertebroplasty: assessment of radiation doses and implementation of procedural routines to reduce operator exposure. *Acta Radiol Stockh Swed* 1987. juin 2009;50(5):490–6.
12. Amoretti N, Lesbats V, Marcy P-Y, Hauger O, Amoretti M, Maratos Y, et al. Dual guidance (CT and fluoroscopy) vertebroplasty: radiation dose to radiologists. How much and where? *Skeletal Radiol.* déc 2010;39(12):1229–35.
13. Amoretti N, Lesbats-Jacquot V, Marcy P-Y, Hauger O, Maratos Y, Ianessi A, et al. [Vertebroplasty and kyphoplasty under dual guidance (CT and fluoroscopy): radiation dose to radiologist. A comparative study]. *J Neuroradiol J Neuroradiol.* juill 2011;38(3):135–40.
14. Gianfelice D, Lepanto L, Perreault P, Chartrand-Lefebvre C, Milette PC. Effect of the learning process on procedure times and radiation exposure for CT fluoroscopy-guided percutaneous biopsy procedures. *J Vasc Interv Radiol JVIR.* oct 2000;11(9):1217–21.

15. Yin P, Ji Q, Wang Y, Liu Y, Wu Y, Yu Y, et al. Percutaneous kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures via unilateral versus bilateral approach: A meta-analysis. *J Clin Neurosci Off J Neurosurg Soc Australas.* janv 2019;59:146–54.
16. Sun H, Lu P-P, Liu Y-J, Yang X, Zhou P-H, Shen X-F, et al. Can Unilateral Kyphoplasty Replace Bilateral Kyphoplasty in Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures? A Systematic Review and Meta-analysis. *Pain Physician.* déc 2016;19(8):551–63.
17. Narain AS, Hijji FY, Yom KH, Kudaravalli KT, Haws BE, Singh K. Radiation exposure and reduction in the operating room: Perspectives and future directions in spine surgery. *World J Orthop.* 18 juill 2017;8(7):524–30.
18. Li Y-Y, Huang T-J, Cheng C-C, Wu M-H, Lee C-Y. Comparing radiation exposure during percutaneous vertebroplasty using one- vs. two-fluoroscopic technique. *BMC Musculoskelet Disord.* 22 janv 2013;14:38.
19. Choi H-C. Fluoroscopic Radiation Exposure during Percutaneous Kyphoplasty. *J Korean Neurosurg Soc.* janv 2011;49(1):37–42.
20. Smith TA, Kirkpatrick DR, Smith S, Smith TK, Pearson T, Kailasam A, et al. Radioprotective agents to prevent cellular damage due to ionizing radiation. *J Transl Med.* 9 nov 2017;15(1):232.
21. Komemushi A, Tanigawa N, Kariya S, Kojima H, Shomura Y, Sawada S. Radiation exposure to operators during vertebroplasty. *J Vasc Interv Radiol JVIR.* oct 2005;16(10):1327–32.
22. Wang J, Liu H, Zhang K, Li B, Yang H, Wang H, et al. Reducing radiation exposure during kyphoplasty with the use of a remote control injection system: a prospective study. *Spine.* 15 janv 2015;40(2):E127-132.
23. Panizza D, Barbieri M, Parisoli F, Moro L. Patient radiation exposure during different kyphoplasty techniques. *Radiat Prot Dosimetry.* janv 2014;158(2):230–4.
24. Katada K, Kato R, Anno H, Ogura Y, Koga S, Ida Y, et al. Guidance with real-time CT fluoroscopy: early clinical experience. *Radiology.* sept 1996;200(3):851–6.
25. Neeman Z, Dromi SA, Sarin S, Wood BJ. CT fluoroscopy shielding: decreases in scattered radiation for the patient and operator. *J Vasc Interv Radiol JVIR.* déc 2006;17(12):1999–2004.
26. Ortiz AO, Natarajan V, Gregorius DR, Pollack S. Significantly reduced radiation exposure to operators during kyphoplasty and vertebroplasty procedures: methods and techniques. *AJNR Am J Neuroradiol.* mai 2006;27(5):989–94.
27. King JN, Champlin AM, Kelsey CA, Tripp DA. Using a sterile disposable protective surgical drape for reduction of radiation exposure to interventionalists. *AJR Am J Roentgenol.* janv 2002;178(1):153–7.
28. Synowitz M, Kiwit J. Surgeon’s radiation exposure during percutaneous vertebroplasty. *J Neurosurg Spine.* févr 2006;4(2):106–9.
29. Rampersaud YR, Foley KT, Shen AC, Williams S, Solomito M. Radiation exposure to the spine surgeon during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion. *Spine.* 15 oct 2000;25(20):2637–45.
30. Ahn Y, Kim C-H, Lee JH, Lee S-H, Kim J-S. Radiation exposure to the surgeon during percutaneous endoscopic lumbar discectomy: a prospective study. *Spine.* 1 avr 2013;38(7):617–25.
31. Struelens L, Schoonjans, Vanhavere F. Extremity and eye lens dosimetry for medical staff performing vertebroplasty and kyphoplasty procedures. *J Radiol Prot Off J Soc Radiol Prot.* sept 2013;33(3):635–45.

APPENDICES

Fig. 1 Installation of the patient for minimal invasive procedure of the spine.



Fig. 2 Traditional surgical instrument used for percutaneous vertebroplasty.



Table 1. Patient demographics and intervention characteristics.

Mean age (years)		70.0 ± 11.7
Male sex		44 (40%)
Mean BMI (kg.m ⁻²)		24.7 ± 4.3
Interventions (MIPs)		120
	Vertebroplasty	111 (92.5%)
	Kyphoplasty	9 (7.5%)
Cause	Osteoporosis	63 (52.5%)
	Trauma	33 (27.5%)
	Cancer	20 (16.7%)
	Angioma	4 (3.3%)
Localization	Thoracic spine	48 (40%)
	Thoracolumbar spine	25 (20.8%)
	Lumbar spine	47 (39.2%)
Number of treated levels	1	64 (53.3%)
	2	22 (18.3%)
	≥3	34 (28.3%)
Mean number of operative levels		1.9
Mean operative time (min)		38.9 ± 19.7
Total exposure time (min)		6.3 ± 4.2
Patient mean radiation dose (mSv)		13.9 ± 12.3
Physician mean radiation dose (μSv)		1.5 ± 1.7

BMI body mass index, *MIPs* minimal invasive procedures

Table 2. Patient radiation dose per vertebra (millisievert) according to the type of intervention and the body mass index (kg.m⁻²).

	18.5 ≤ BMI < 25	BMI ≥ 25	P values
Vertebroplasty	6.7 ± 8.6	11.4 ± 8.5	< .001
Kyphoplasty	6.3 ± 3.4	10.9 ± 6.6	.248
MIPs	6.7 ± 8.4	11.4 ± 8.3	< .001

Data are the mean ± standard deviation

Table 3. Patient (millisievert) and physician (microsievert) radiation dose per vertebra according to the number of operative levels.

	1 level	2 levels	≥ 3 levels	P value
Patient radiation dose				
per vertebra (mSv)				
				0.0007
Mean value (std)	10.6 (10.1)	6.9 (6.0)	5.7 (4.4)	
Median value (min – max)	8.0 (1.7 – 64.7)	4.6 (2.0 – 25.6)	4.9 (1.1 – 21.3)	
Physician radiation dose				
per vertebra (μSv)				
				0.0407
Mean value (std)	1.0 (1.1)	0.6 (0.5)	0.7 (0.7)	
Median value (min – max)	0.8 (0.0 – 8.0)	0.5 (0.1 – 2.0)	0.4 (0.1 – 3.3)	

Fig. 3 Box-plots of the patient mean radiation dose (millisievert) during vertebroplasty according to the body mass index (kg.m^{-2}).

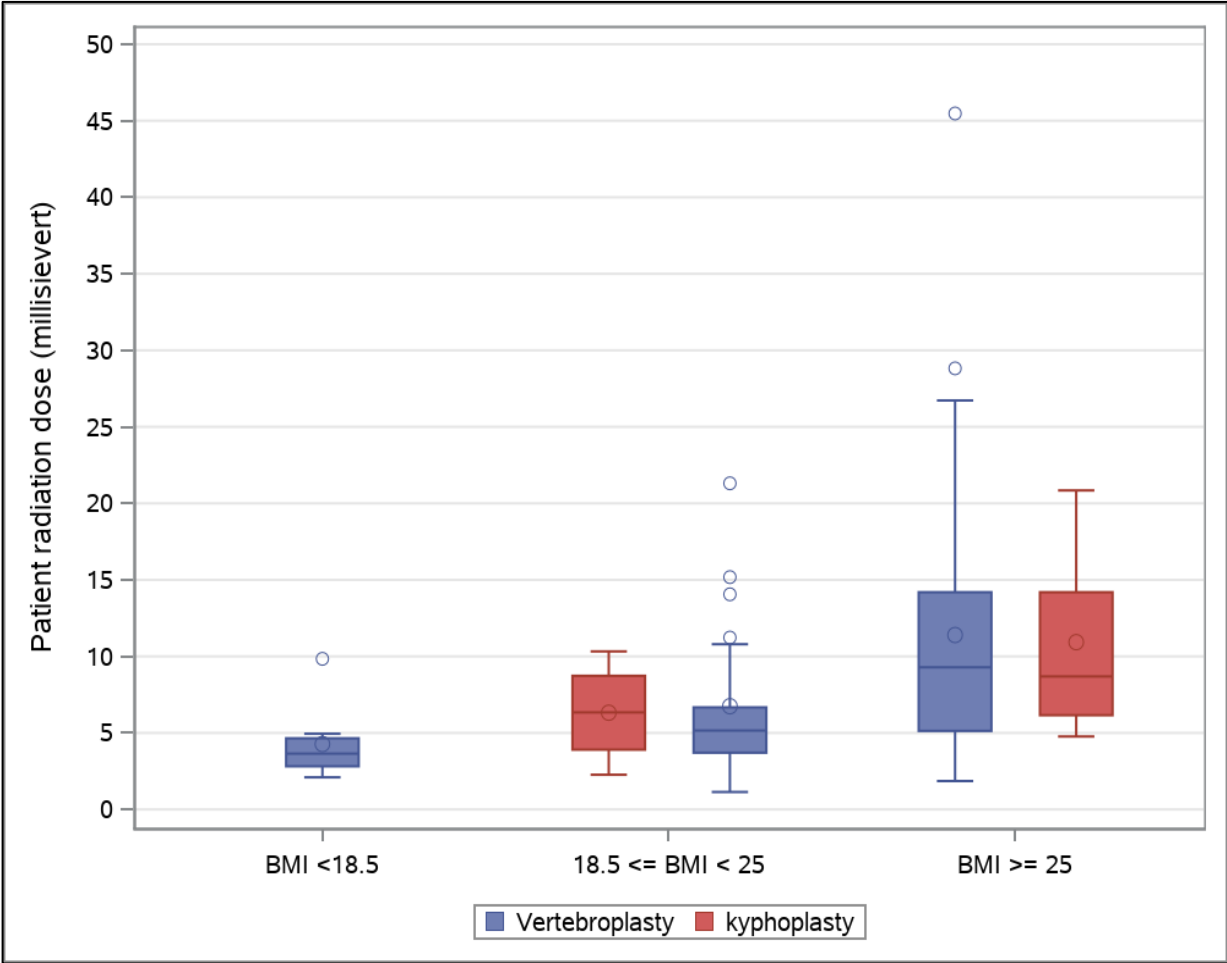
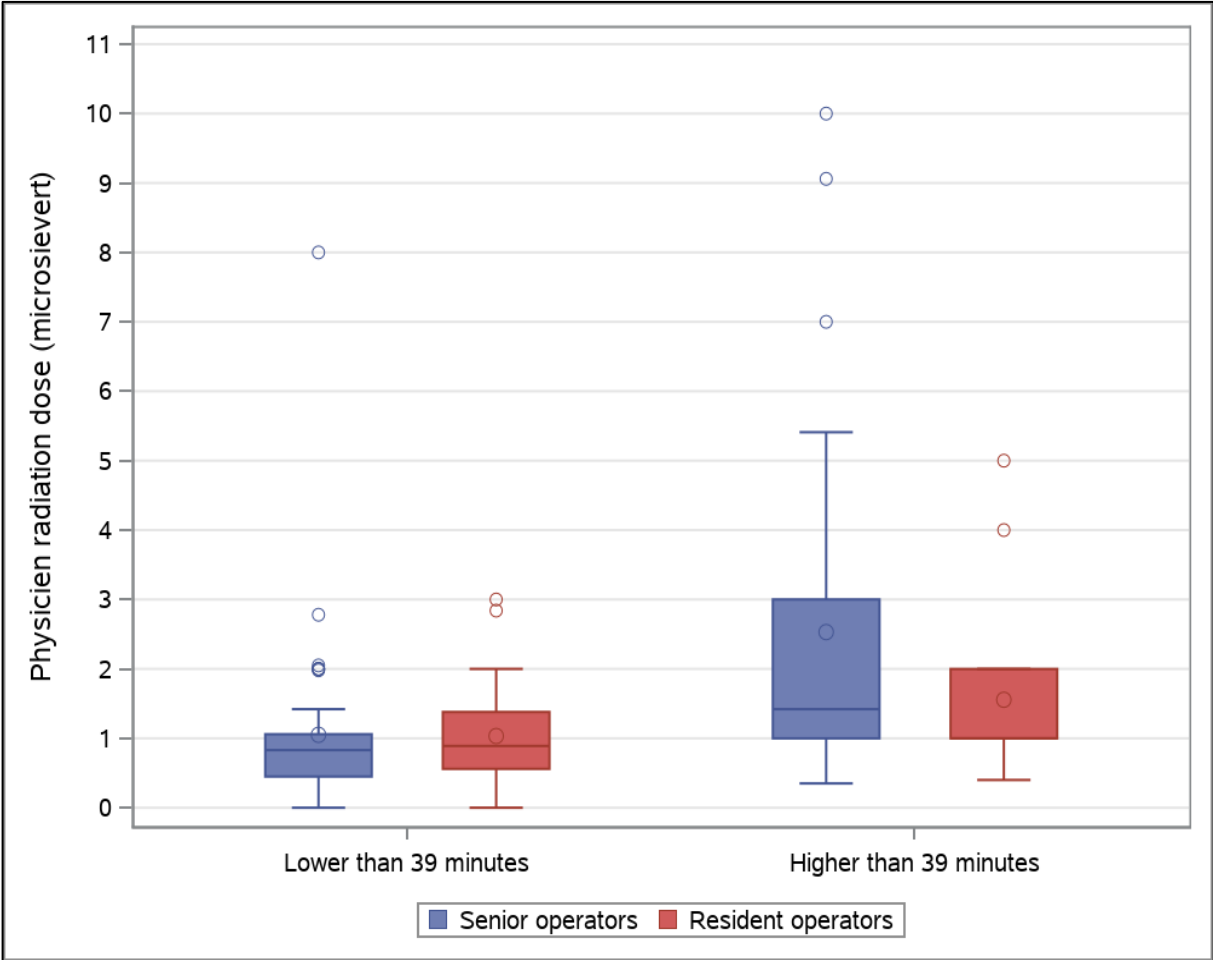


Fig. 4 Box-plots of physician mean radiation dose (microsievert) according to the operating time.



TITRE DE LA THÈSE : RADIOPROTECTION DES PATIENTS ET DES MEDECINS AU COURS DES INTERVENTIONS PERCUTANÉES DE LA COLONNE VERTEBRALE

AUTEUR : M. AVRIL JULIEN

RESUME :

INTRODUCTION : LE BUT DE CETTE ETUDE ETAIT D'ÉVALUER LA DOSE D'IRRADIATION RECUE PAR LE PATIENT ET LE MEDECIN AU COURS DES INTERVENTIONS PERCUTANÉES MINI-INVASIVES DE LA COLONNE VERTEBRALE DANS LE BUT DE DÉFINIR DES VALEURS DE RÉFÉRENCE LOCALES ET D'ENVISAGER LES MOYENS SUPPLÉMENTAIRES DE RADIOPROTECTION.

MATÉRIEL ET MÉTHODES : UNE ÉTUDE RÉTROSPECTIVE SUR 12 MOIS A MESURÉ LA DOSE EFFICACE D'IRRADIATION À LA PEAU DU PATIENT ET LA DOSE D'IRRADIATION CORPS ENTIER DU MEDECIN AU COURS DES VERTEBROPLASTIES ET KYPHOPLASTIES. CENT-VINGT INTERVENTIONS ONT ÉTÉ RÉALISÉES CHEZ 111 PATIENTS UTILISANT UN ABORD BI-PÉDICULAIRE SOUS GUIDAGE FLUOROSCOPIQUE.

RÉSULTATS : LE TEMPS MOYEN D'EXPOSITION ÉTAIT DE 6,3 MINUTES PAR PROCÉDURE. L'IRRADIATION MOYENNE CORPS ENTIER DU MEDECIN ÉTAIT DE 1.5 μ SV PAR PROCÉDURE. CHEZ LES PATIENTS OBÈSES, LA DOSE MOYENNE D'IRRADIATION PAR VERTEBRE AU COURS DES VERTEBROPLASTIES ÉTAIT SIGNIFICATIVEMENT PLUS ÉLEVÉE ; 11,4 MSV CHEZ LES PATIENTS DONT L'INDICE DE MASSE CORPOREL ÉTAIT SUPÉRIEUR OU ÉGAL À 25 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, CONTRE 6,7 MSV CHEZ LES PATIENTS DONT L'IMC ÉTAIT COMPRIS ENTRE 18,5 ET 25 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ SOIT UN SURCROIT D'IRRADIATION DE 69% ($P < 0,001$). IL N'Y AVAIT PAS DE DIFFÉRENCE SIGNIFICATIVE D'IRRADIATION EN FONCTION DU TYPE DE PROCÉDURE, DU NIVEAU OU DE L'ÉTIOLOGIE DE LA FRACTURE.

CONCLUSION : L'OBÉSITÉ ÉTAIT ASSOCIÉE À UN SURCROIT D'IRRADIATION DU PATIENT EN LIEN AVEC LE RAYONNEMENT RÉTRODIFFUSE, SANS IMPACT SUR LA DOSE D'IRRADIATION DU MEDECIN.

MOTS-CLES : RADIOPROTECTION — PROCÉDURE MINI-INVASIVE — VERTEBROPLASTIE — KYPHOPLASTIE — COLONNE VERTEBRALE