

# Effet des ultraviolets C émis par une lampe excimère KrCl avec ou sans filtre passe-bande sur l'épiderme de la souris

Kouji Narita,  
Krisana Asano,  
Kyosuke Yamane,  
Hiroyuki Ohashi,  
Tatsushi Igarashi,  
Akio Nakane

Publié le 3 mai 2022

## Résumé

Il a été rapporté que l'ultraviolet C (UVC) de 222nm exerce un effet germicide sur les bactéries et les virus aussi bien que le rayonnement UV émis par une lampe germicide conventionnelle mais est moins toxique pour les cellules de mammifères que celui d'une lampe germicide. Une lampe à excimère remplie de chlorure de krypton (KrCl) gazeux émet principalement des UVC de 222nm. Cependant, la lampe émet également une large bande de longueurs d'onde autres que 222nm, notamment des UVC à une longueur d'onde supérieure à 222nm et des ultraviolets B, qui causent des dommages à l'ADN. Il existe quelques rapports sur le rôle critique des filtres passe-bande dans la réduction de l'effet nocif des UVC émis par une lampe excimère KrCl sur un modèle de peau humaine et sur des sujets humains. Cependant, l'efficacité d'un filtre passe-bande n'a pas été démontrée dans des expériences sur des animaux. Dans la présente étude, des souris ont été irradiées avec des UVC émis par une lampe à excimère KrCl avec ou sans filtre passe-bande. Les UVC émis par une lampe KrCl non filtrée à des doses de 50, 150 et 300mJ/cm<sup>2</sup> ont induit des cellules positives au dimère de cyclobutyl pyrimidine (CPD), tandis que les UVC émis par une lampe filtrée n'ont pas augmenté de manière significative les cellules positives au CPD dans l'épiderme. La présente étude suggère que le filtre passe-bande joue un rôle essentiel dans la réduction de l'effet nocif de l'émission en dehors de 222nm sur les kératinocytes de la souris.

## Introduction

La pandémie de coronavirus 19 causée par le coronavirus 2 du syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS-CoV-2) a incité les gens à s'intéresser aux moyens et aux outils permettant d'inactiver les virus en suspension dans l'air [1, 2]. L'irradiation aux ultraviolets C (UVC) suscite beaucoup d'intérêt en tant que moyen de désinfection des agents pathogènes dans les espaces publics [3-5]. Les UVC compris entre 240 et 280nm sont connus pour leur fort effet germicide, et une lampe à mercure basse pression (Hg) émettant principalement des UVC de 254nm a été largement utilisée pour tuer et inactiver les bactéries et les virus [6, 7].

Il est bien connu que les UVC de 254nm sont directement absorbés par l'ADN des micro-organismes et entraînent la formation de photoproduits dimériques entre les bases pyrimidiques adjacentes, tels que le dimère de cyclobutylpyrimidine (CPD). Le CPD interrompt la transcription, la traduction et la réplication de l'ADN, induit une mutagénicité et une cytotoxicité, et provoque la mort des cellules bactériennes et l'inactivation virale [8, 9]. Cependant, le rayonnement UV émis par une lampe à Hg basse pression est également connu pour être nocif pour les cellules de mammifères, pour être un

danger pour la santé humaine causant des coups de soleil et des dermatites, et pour augmenter le risque de cancer de la peau [7, 10].

Il a été signalé que les UVC de 222nm sont moins toxiques pour les cellules de mammifères et ont un effet moins dommageable sur les cellules épidermiques que le rayonnement UV d'une lampe germicide, car les UVC à cette longueur d'onde sont bien absorbés par les protéines et/ou d'autres biomolécules et n'atteignent que la couche cornée la plus externe de l'épiderme [11]. Il a été démontré que l'irradiation par des UVC de 222nm à 500mJ/cm<sup>2</sup> provoque un effet bactéricide mais n'induit qu'une faible quantité de DPC dans la peau humaine [12].

Les UVC sont produits par une lampe excimère à décharge à haute fréquence remplie de gaz noble. En fonction des types de gaz rares utilisés, les lampes à excimère émettent des UVC à des longueurs d'onde spécifiques. Une lampe à excimère remplie de chlorure de krypton (KrCl) émet principalement des UVC de 222nm. Cependant, la lampe émet également un faible rayonnement d'UVC de 230~280 nm, un faible rayonnement d'ultraviolet B (UVB) et d'ultraviolet A (UVA) dû à des transitions électroniques autres que la transition de l'exciplex KrCl [13-15]. On sait que ces émissions inutiles et les composantes nocives des longueurs d'onde émises par les lampes excimères KrCl sont réduites par l'utilisation d'un filtre passe-bande. Buonanno et al. ont démontré que la DPC dans un modèle de tissu cutané humain tridimensionnel (3D) est induite par l'irradiation avec des UVC émis par une lampe à excimère KrCl sans filtre passe-bande à une dose de 23mJ/cm<sup>2</sup> ; cependant, la lumière UVC émise par la lampe avec un filtre passe-bande est nécessaire à une dose de 500mJ/cm<sup>2</sup> pour induire un petit nombre de cellules positives pour la DPC dans les modèles de peau [13].

Certains rapports ont démontré que le filtre passe-bande réduit l'effet nocif des UVC émis par les lampes excimères KrCl en réduisant la formation de CPD dans l'épiderme de sujets humains et d'un modèle de peau humaine [11, 13, 16]. Cependant, l'efficacité d'un filtre passe-bande fixé à une lampe KrCl n'a pas été vérifiée dans des expériences sur des animaux. La présente étude a examiné l'effet du rayonnement UV émis par une lampe excimère KrCl avec ou sans filtre passe-bande sur l'épiderme de souris.

## **Matériel et méthodes**

### **Souris et déclaration d'éthique**

Hos: HR-1 (Japan SLC, Inc., Hamamatsu, Japon) est une souche de souris mutante, homozygote pour la mutation spontanée Hrhr. Cette souche présente un phénotype de perte de poils ; cependant, la mutation n'influence pas la nature de la peau [17]. Dans la présente étude, des souris Hos: HR-1 femelles âgées de 7 semaines ont été utilisées. Les souris ont été maintenues dans des conditions spécifiques exemptes d'agents pathogènes à l'Institute for Animal Experimentation, Hirosaki University Graduate School of Medicine (Hirosaki, Japon). Les expériences sur les animaux ont été menées en stricte conformité avec les directives de l'Université de Hirosaki en matière d'expérimentation animale. Le protocole expérimental a été approuvé par le comité d'éthique de l'Institute for Animal Experimentation, Hirosaki University Graduate School of Medicine.

### **Source de lumière UVC**

Deux types de dispositifs de lampes ont été utilisés pour l'irradiation par la lumière UVC : L'un était monté à l'aide d'une lampe excimère KrCl avec un filtre optique qui limitait les spectres émettant une

lumière comprise entre 200 et 230nm. La longueur d'onde maximale de sortie du dispositif était de 222nm. Le même type de lampe sans ce filtre optique présente un pic principal de 222nm, un spectre large dérivé du KrCl avec un pic à 235nm, un spectre dérivé du Cl avec un pic à 258nm, et une petite bande large dérivée du Kr<sub>2</sub>Cl avec un pic à 325nm. Le dispositif SafeZoneUVC émettant à 222nm (Ushio Inc., Tokyo, Japon) est composé d'une lampe, d'un ventilateur de refroidissement par air, de miroirs et d'un filtre passe-bande personnalisé. Ce filtre passe-bande multicouche coupe le rayonnement UV de 230nm à 360nm de sorte que le spectre dans les régions UVC et UVB de 230nm et plus puisse être réduit à environ 1/10 000 de 222nm comme le montre la figure 1. L'irradiance émise par la lumière de 222 nm a été mesurée à l'aide d'un compteur UV accumulé S-172/UIT250 (Ushio Inc., Tokyo, Japon). La valeur a été trouvée à 1,40~1,48mW/cm<sup>2</sup> à une distance de 100mm de la fenêtre d'émission et celle du modèle sans filtre a été mesurée à 1,60~1,68mW/cm<sup>2</sup> à la même distance. Pour acquérir des données de contrôle positif, une lampe Hg basse pression conventionnelle nommée SUV-4 (AS ONE Corporation, Osaka, Japon) a été utilisée. Cette lampe émet principalement des UVC de 254nm et au moins 3~4 % d'UVB qui induisent des CPD plus mutagènes que les UVC [18, 19]. L'irradiance des UVC de 254nm a été déterminée à l'aide d'un S-254/UIT250 (Ushio Inc., Tokyo, Japon). L'irradiance des UVC de 254nm s'est révélée être de 1,43 mW/cm<sup>2</sup> à une distance de 20mm de la fenêtre. Les spectres émis par la lampe excimère KrCl avec le filtre passe-bande ont été mesurés à l'aide d'un spectromètre multicanaux QEP01172 (Ocean Insight, Orlando, FL, USA). Le QEP 01172 a été étalonné avec la lampe L7820 D2 (Hamamatsu Photonics K.K., Hamamatsu, Japon) étalonnée par le National Institute of Advanced Industrial Science and Technology.

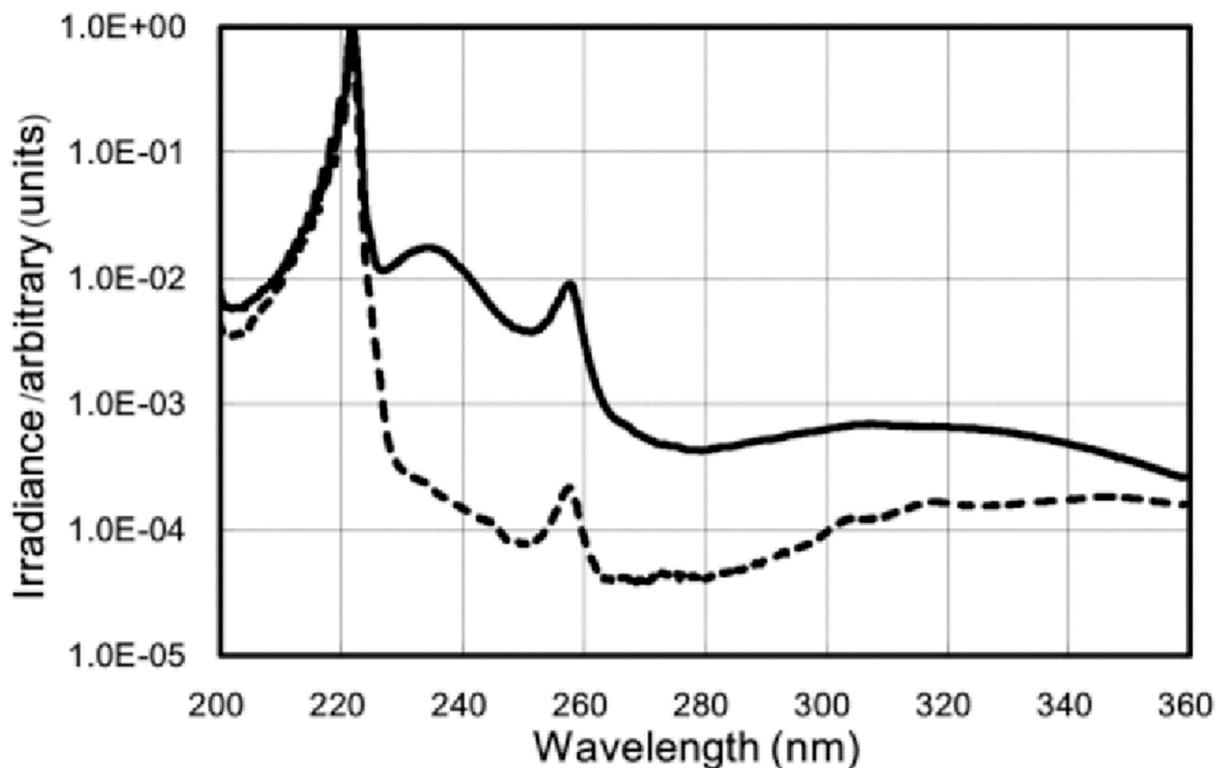


Fig 1. Spectres mesurés émis par la lampe excimère KrCl équipée d'un filtre passe-bande ou sans filtre passe-bande.

La ligne pleine indique l'irradiance spectrale semi-logarithmique d'une lampe KrCl sans filtre passe-bande normalisée au pic de 222nm. La ligne pointillée indique l'irradiance spectrale semi-logarithmique normalisée de la lampe KrCl avec un filtre passe-bande qui réduit l'intensité en dehors du pic de 222nm. Les dispositifs de mesure des spectres ont été décrits dans la section Matériaux et méthodes. KrCl : chlorure de krypton.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267957.g001>

### **Irradiation UVC des souris**

Les souris ont été divisées en 10 groupes. Chaque groupe était composé de 2 souris. Les souris ont été anesthésiées par injection intrapéritonéale d'un cocktail contenant du chlorure de médétomidine (Meiji Seika Kaisha, Ltd., Tokyo, Japon), du Midazolam (SANDOZ, Tokyo, Japon) et du tartrate de butorphanol (Meiji Seika Kaisha, Ltd., Tokyo, Japon) à une dose de 0,3mg/kg, 4 mg/kg et 5 mg/kg, respectivement. Les peaux de la surface dorsale de souris glabres ont été irradiées par des UVC émis par la lampe excimère KrCl sans filtre passe-bande à des doses de 10, 15, 20, 50, 150 et 300 mJ/cm<sup>2</sup> ou par la lampe excimère KrCl avec un filtre passe-bande à des doses de 150 et 300 mJ/cm<sup>2</sup>. L'irradiation UVC a été effectuée sur une seule souris par exposition. Comme contrôle positif, un groupe de souris a été irradié avec un rayonnement UV provenant d'une lampe Hg basse pression, et l'irradiance de 254nm du rayonnement UV était de 30mJ/cm<sup>2</sup>. Des souris non irradiées ont été utilisées comme contrôle négatif.

### **Analyse immunohistochimique**

Les tissus cutanés ont été prélevés sur la peau dorsale des souris appartenant à chaque groupe immédiatement après l'irradiation UVC ou la non-irradiation et les souris ont été sacrifiées par dislocation cervicale. Les tissus cutanés ont été fixés avec du formol tamponné au phosphate à 10% pendant la nuit. Des sections de paraffine (2µm d'épaisseur) ont été préparées en coupant des blocs inclus dans la paraffine du tissu cutané. Après la déparaffinisation et la réhydratation des sections de tissu, la récupération de l'antigène a été effectuée en incubant les sections dans une solution de protéinase K (1:1 000 ; Qiagen GmbH, Hilden, Allemagne), et les sections ont été incubées dans une solution saline tamponnée au phosphate (PBS) contenant 5% d'albumine de sérum bovin (MilliporeSigma, Burlington, MA, États-Unis) pendant 1 h à température ambiante. Les sections ont ensuite été incubées avec un anticorps monoclonal anti-CPD conjugué à de la peroxydase de raifort (Kamiya Biomedical Co., Seattle, WA, USA) pendant une nuit à 4°C. Les sections ont été rincées trois fois avec du PBS pendant 5 minutes chacune à température ambiante. La réaction colorée a été développée par l'ajout de diaminobenzidine, puis une contre-coloration a été réalisée avec de l'hématoxyline. Les cellules CPD-positives et les cellules négatives ont été quantifiées en comptant les cellules dans quatre champs aléatoires de haute puissance (x400) pour chaque préparation.

### **Analyse statistique**

Les données sont présentées sous forme de moyenne ± l'écart-type. Le groupe non irradié et chaque groupe irradié ont été comparés statistiquement à l'aide du test t de Student. P<0,05 a été considéré comme indiquant une différence statistiquement significative.

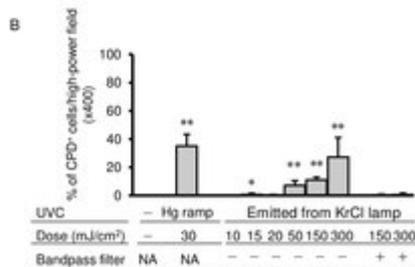
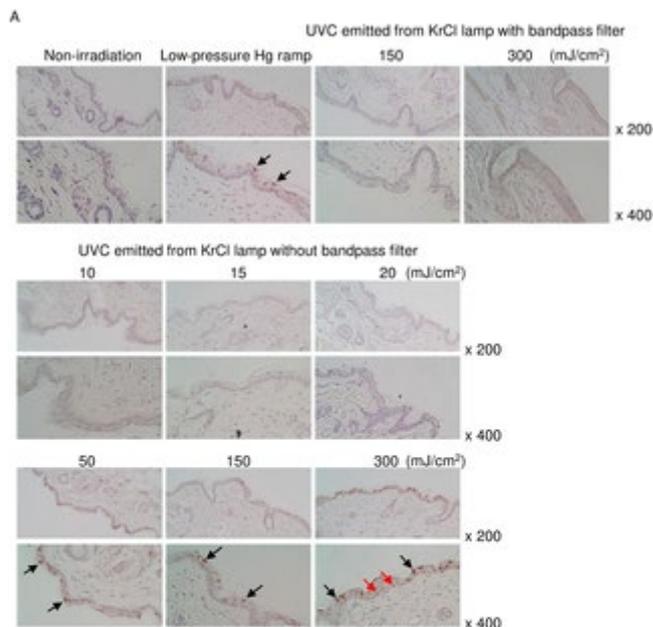
## Résultats

### Spectres émis par la lampe excimère KrCl équipée ou non d'un filtre passe-bande.

Le spectre de KrCl non filtré présente un pic de spectre d'ordre de pourcentage dans la région UVC de 230~280nm par rapport au pic de 222nm. Avec le filtre, ce pic est réduit d'environ deux ordres de grandeur. De plus, la puissance de sortie des UVC de 235-320nm, UVB sans filtre est de 15,5% de la puissance de sortie des UVC de 200~230nm et la puissance de sortie des UVC de 280~320nm, UVB avec filtre est de 0,43% de la puissance de sortie des UV de 200~230nm (Fig 1).

### Les UVC émis par une lampe excimère KrCl sans filtre passe-bande induisent une DPC dans les kératinocytes, même à faible dose.

Les cellules CPD-positives n'ont pas été détectées dans les tissus cutanés de souris non irradiées, alors que dans les peaux dorsales de souris irradiées par une lampe Hg basse pression, ~35% des cellules épidermiques étaient des cellules CPD-positives (Fig 2A et 2B). Les UVC émis par une lampe excimère KrCl sans filtre passe-bande à des doses de 10, 15, 20, 50, 150 et 300mJ/cm<sup>2</sup> ont induit 0, 0,75, 0,25, 7,1, 11,0 et 27,3%, respectivement, de cellules CPD-positives (flèche noire) dans les cellules épidermiques des souris. Des cellules CPD-positives ont également été détectées dans la couche basale de l'épiderme irradié par les rayons UV d'une lampe KrCl non filtrée à une dose de 300mJ/cm<sup>2</sup> (flèche rouge). Les UVC émis par une lampe excimère KrCl avec un filtre passe-bande à des doses de 150 et 300mJ/cm<sup>2</sup> ont induit 0,25 et 0,63% de cellules positives pour la CPD dans les cellules épidermiques des souris. Ces pourcentages n'étaient pas significativement différents de ceux des souris non irradiées (Fig 2A et 2B).



## Discussion

L'irradiation avec des UVC de 222nm a récemment attiré l'attention en tant que méthode de désinfection. En outre, les UVC à 222nm présentent une activité antimicrobienne contre divers agents pathogènes, dont le SRAS-CoV-2, et sont aussi efficaces que le rayonnement UV d'une lampe Hg basse pression utilisée comme lampe germicide [3-5]. Une lampe Hg basse pression émet principalement des UVC à 254nm et des UVB à 297, 302 et 313,2nm. Bien que la composante UVB représente <7% de la teneur totale en UV, la mutagénicité des CPD induite par le rayonnement UVB est supérieure à celle induite par les UVC dans l'épiderme [18, 19]. Contrairement au rayonnement UV provenant d'une lampe germicide, les UVC de 222nm émis par une lampe KrCl filtrée se sont révélés sans danger pour la peau lors d'expériences sur des animaux et sur des sujets humains [11, 15, 20-23].

Dans la présente étude, l'irradiation par des rayons UV émis par une lampe Hg basse pression a induit un grand nombre de kératinocytes CPD-positifs dans la peau des souris. En revanche, les UVC émis par une lampe équipée d'un filtre passe-bande n'ont pas induit de manière significative de cellules CPD-positives (Fig 2). Ces résultats sont conformes aux rapports précédents, qui ont démontré que l'irradiation par des UVC de 222nm émis par une lampe excimère avec un filtre passe-bande à une dose de 150 et 157mJ/cm<sup>2</sup> n'a pas entraîné d'augmentation significative des cellules CPD-positives dans la peau de souris par rapport à celle de souris non irradiées [21, 24]. Cependant, Hickerson et al. ont démontré que l'irradiation avec des UVC filtrés de 222nm à une dose élevée de 6 100mJ/cm<sup>2</sup> a induit une formation minimale de DPC uniquement dans la couche supérieure de l'épiderme d'échantillons de peau humaine [15]. Une moindre induction de DPC par l'irradiation avec des UVC provenant d'une lampe filtrée a été démontrée à la fois dans des expériences sur des animaux et sur des sujets humains. En revanche, l'effet du rayonnement UV émis par la lampe sans filtre passe-bande sur la formation de DPC a été signalé dans un modèle de peau humaine et chez des sujets humains. À l'aide d'un modèle de peau humaine en 3D, Buonanno et al. ont signalé que des expositions à des rayonnements aussi faibles que 23mJ/cm<sup>2</sup> d'UVC provenant d'un rayonnement de lampe non filtré augmentaient de façon marquée la formation de DPC [13]. Woods et al. ont démontré que l'exposition aux UVC d'une lampe non filtrée induisait la formation de DPC non seulement dans les kératinocytes suprabasaux mais aussi dans les kératinocytes germinaux de la couche basale chez des sujets humains [16]. Cependant, l'effet des UVC d'une lampe non filtrée sur la formation de DPC n'a pas été rapporté dans des expériences sur les animaux.

Dans la présente étude, le rayonnement UV émis par la lampe sans filtre passe-bande a induit un nombre significatif de kératinocytes CPD-positifs à 50, 150 et 300mJ/cm<sup>2</sup> dans la peau dorsale des souris (Fig 2A et 2B). L'épiderme de souris ne comprend généralement que trois couches cellulaires et son épaisseur est <25µm, alors que l'épiderme humain constitue couramment 6 à 10 couches cellulaires avec une épaisseur de plus de 50µm [25]. Bien que la structure de l'épiderme diffère entre les humains et les souris, les UVC 222nm non filtrés ont induit des cellules CPD-positives dans la couche basale de l'épiderme des souris, comme cela a été montré dans l'épiderme des humains (Fig 2A).

On sait que les UVC émis par une lampe excimère KrCl contiennent 83% d'UVC de 200~230nm avec une longueur d'onde d'émission maximale de 222nm. En plus de cette gamme de longueurs d'onde, le spectre de la lampe contient 10% d'UVC de 230~280nm de plus grande longueur d'onde, 3% d'UVB et 4% d'UVA [15]. Il a été signalé que le rayonnement UVC émis par une lampe KrCl non filtrée pénètre dans la couche cornée et provoque des lésions de l'ADN dans les kératinocytes de la peau humaine et d'un modèle de peau humaine en 3D [13, 16]. Dans la présente étude, le filtre passe-bande a réduit les UVC et les UVB de 230-280nm comme le montre la figure 1, tandis que le

rayonnement UV émis par la lampe KrCl sans filtre passe-bande, qui comprend les UVC et les UVB, a provoqué un effet nocif chez les souris.

De plus en plus de preuves suggèrent l'efficacité de l'irradiation avec des UVC 222nm pour l'inactivation des virus aéroportés et l'inhibition de la transmission par voie aérienne et par voie de surface dans les lieux publics. Cependant, d'autres études, y compris des expériences sur les animaux, seraient nécessaires pour une utilisation appropriée du rayonnement UVC 222nm. Les résultats actuels des expériences sur les souris suggèrent que le filtre passe-bande avec une lampe excimère KrCl joue un rôle essentiel dans la réduction de l'effet des longueurs d'onde nocives sur les kératinocytes et dans l'augmentation de la sécurité de l'irradiation avec des UVC 222nm.

## Références

1.Viana Martins CP, Xavier CSF, Cobrado L. Disinfection methods against SARS-CoV-2 : a systematic review. *J Hosp Infect.* 2022 Jan;119:84-117. pmid:34673114

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

Sharafi SM, Ebrahimpour K, Nafez A. Environmental disinfection against COVID-19 in different areas of health care facilities : a review. *Rev Environ Health.* 2020 Aug 26;36(2):193-198. pmid:32845869

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

3 Buonanno M, Welch D, Shuryak I, Brenner DJ. La lumière UVC lointaine (222 nm) inactive efficacement et en toute sécurité les coronavirus humains aéroportés. *Sci Rep.* 2020;10:10285. pmid:32581288

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

4.Buchan AG, Yang L, Atkinson KD. Prévion de l'inactivation des coronavirus dans l'air par les UVC lointains dans les pièces peuplées à l'aide d'un modèle couplé haute-fidélité de rayonnement-CFD. *Sci Rep.* 2020 ; 10:19659. pmid:33184316

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

5.Storm N, McKay LGA, Downs SN, Johnson RI, Birru D, de Samber M, et al. Rapid and complete inactivation of SARS-CoV-2 by ultraviolet-C irradiation. *Sci Rep.* 2020 ; 10:22421. pmid:33380727

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

6.Gupta A, Avci P, Dai T, Huang YY, Hamblin MR. Le rayonnement ultraviolet dans le soin des plaies : Stérilisation et stimulation. *Adv Wound Care (New Rochelle).* 2013 ; 2(8):422-437. pmid:24527357

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

7.Chang JC, Ossoff SF, Lobe DC, Dorfman MH, Dumais CM, Qualls RG, et al. UV inactivation of pathogenic and indicator microorganisms. *Appl Environ Microbiol.* 1985 ; 49(6):1361-1365. pmid:2990336

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

8.Pfeifer GP, You YH, Besaratinia A. Mutations induites par la lumière ultraviolette. *Mutat Res.* 2005 ; 571(1-2):19-31. pmid:15748635

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

9.Cadet J, Sage E, Douki T. Ultraviolet radiation-mediated damage to cellular DNA. *Mutat Res.* 2005 ; 571(1-2):3-17. pmid:15748634

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

10.Pfeifer GP, Besaratinia A. Dommages à l'ADN dépendant de la longueur d'onde UV et cancer de la peau humain non-mélanome et mélanome. *Photochem Photobiol Sci.* 2012 ; 11(1):90-97. pmid:21804977

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

11.Hessling M, Haag R, Sieber N, Vatter P. The impact of far-UVC radiation (200-230 nm) on pathogens, cells, skin, and eyes-A collection and analysis of a hundred years of data. *GMS Hyg Infect Control.* 2021 ; 16:Doc07. pmid:33643774

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

Fukui T, Niikura T, Oda T, Kumabe Y, Ohashi H, Sasaki M, et al. Exploratory clinical trial on the safety and bactericidal effect of 222-nm ultraviolet C irradiation in healthy humans. *PLoS One.* 2020 ; 15(8):e0235948. pmid:32785216

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

13 Buonanno M, Welch D, Brenner DJ. Exposition de modèles de peau humaine à des lampes excimères KrCl : The impact of optical filtering. *Photochem Photobiol,* 2021 ; 97 : 517-523. pmid:33465817

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

14.Lomaev MI, Skakun VS, Sosnin EA, Tarasenko VF, Shitts DV, Erofeev MV. Excilamps : Efficient sources of spontaneous UV and VUV radiation. *Phys Usp.* 2003 ; 46(2):193-209.

View ArticleGoogle Scholar

15.Hickerson RP, Conneely MJ, Hirata Tsutsumi SK, Wood K, Jackson DN, Ibbotson SH, et al. Minimal. Superficial DNA damage in human skin from filtered far-ultraviolet C. *Br J Dermatol.* 2021 ; 184(6):1197-1199. pmid:33452809

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

16.Woods JA, Evans A, Forbes PD, Coates PJ, Gardner J, Valentine RM, et al. The effect of 222-nm UVC phototesting on healthy volunteer skin : A pilot study. *Photodermatol Photoimmunol Photomed.* 2015 ; 31(3):159-66. pmid:25495690

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

Hoshino Y, Mizuno S, Kato K, Mizuno-Iijima S, Tanimoto Y, Ishida M, et al. Simple generation of hairless mice for in vivo imaging. *Exp Anim.* 2017 Oct 30;66(4):437-445. pmid:28717054

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

18 Ikehata H, Mori T, Douki T, Cadet J, Yamamoto M. L'analyse quantitative des photolésions UV suggère que les dimères de cyclobutane pyrimidine produits dans la peau de souris par les UVB sont

plus mutagènes que ceux produits par les UVC. *Photochem Photobiol Sci.* 2018;17(4):404-413. pmid:29464256

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

19.Forbes PD, Cole CA, deGrujil F. Origins and evolution of photocarcinogenesis action spectra, including germicidal UVC. *Photochem Photobiol.* 2021;97(3):477–484. pmid:33351208

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

20.Narita K, Asano K, Naito K, Ohashi H, Sasaki M, Morimoto Y, et al. 222-nm UVC inactive un large spectre de pathogènes microbiens. *J Hosp Infect.* 2020 : S0195-6701(20)30129-8. pmid:32243946

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

21.Buonanno M, Ponnaiya B, Welch D, Stanislauskas M, RandersPehrson G, Smilenov L, et al. Efficacité germicide et innocuité cutanée mammalienne de la lumière UV 222-nm. *Radiat Res.* 2017 ; 187(4):483-91. pmid:28225654

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

22.Narita K, Asano K, Morimoto Y, Igarashi T, Nakane A. L'irradiation chronique avec la lumière UVC de 222-nm n'induit ni dommages à l'ADN ni lésions épidermiques dans la peau de souris, même à des doses élevées. *PLoS One.* 2018 ; 13(7):e0201259. pmid:30044862

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

23.Yamano N, Kunisada M, Kaidzu S, Sugihara K, Nishiaki-Sawada A, Ohashi H, et al. Effets à long terme du rayonnement ultraviolet 222-nm C des lampes stérilisantes sur les souris sensibles au rayonnement ultraviolet. *Photochem Photobiol.* 2020 ; 96(4):853-862. pmid:32222977

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

Narita K, Asano K, Morimoto Y, Igarashi T, Hamblin MR, Dai T, et al. Effets de désinfection et de guérison de la lumière UVC de 222 nm sur l'infection à *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline dans les plaies de souris. *J Photochem Photobiol B.* 2018 ; 178:10-18. pmid:29101868

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

25.Gudjonsson JE, Johnston A, Dyson M, Valdimarsson H, Elder JT. Mouse models of psoriasis. *J Invest Dermatol.* 2007 ; 127(6):1292-308. pmid:17429444

Voir l'articlePubMed/NCBIGoogle Scholar

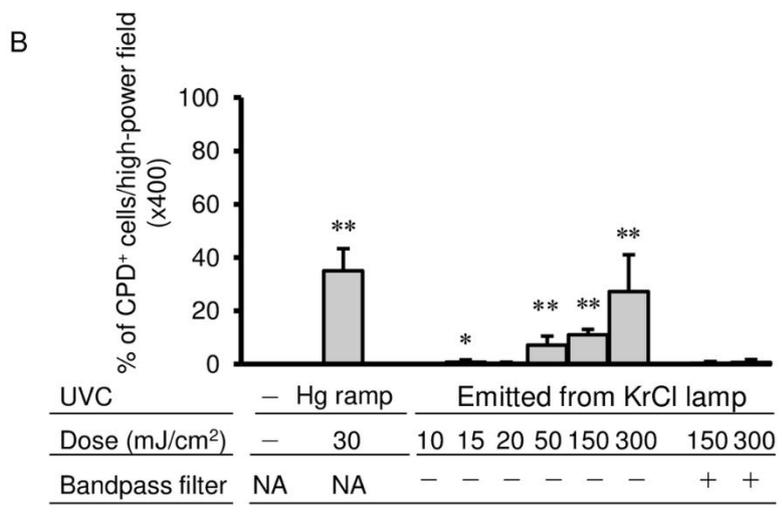
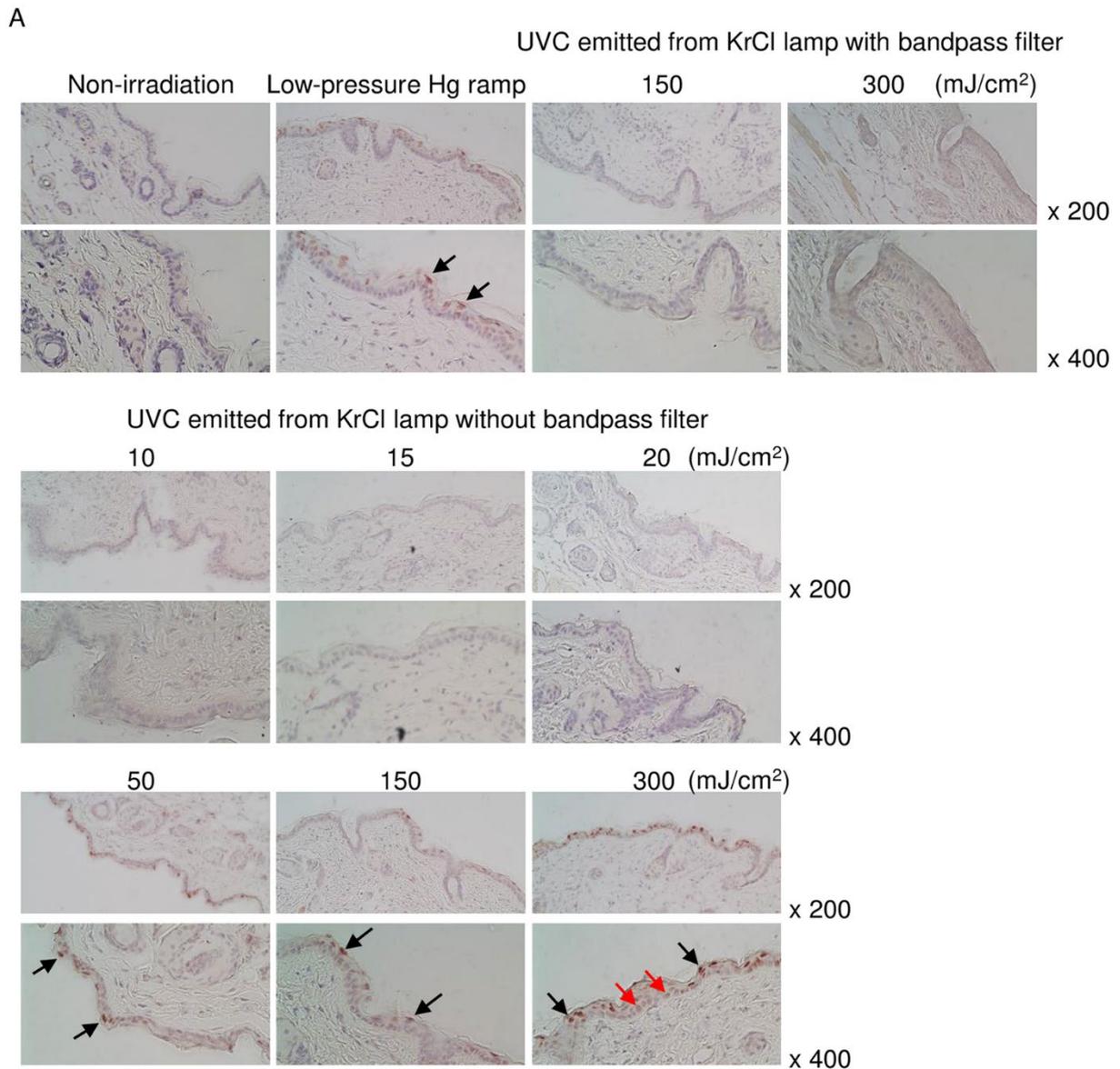


Fig 2. Analyse histologique de la peau dorsale de souris irradiées par des UVC émis par une lampe KrCl avec ou sans filtre passe-bande.

La peau dorsale de souris a été irradiée avec des rayons UV provenant d'une lampe Hg basse pression, des UVC émis par une lampe KrCl avec un filtre passe-bande à 150 et 300 mJ/cm<sup>2</sup> ou des UVC émis par une lampe KrCl sans filtre passe-bande à 10, 15, 20, 50, 150 et 300 mJ/cm<sup>2</sup>. Les échantillons de peau ont été colorés avec un anticorps anti-CPD comme décrit dans la section Matériaux et Méthodes. Les flèches noires indiquent les cellules CPD-positives, et les flèches rouges les cellules CPD-positives dans la couche basale de l'épiderme (A). Les cellules CPD-positives et CPD-négatives ont été quantifiées en comptant les cellules dans le derme dans quatre champs de haute puissance aléatoires (x400) pour chaque préparation, et le pourcentage de cellules CPD-positives a été déterminé. Les données sont présentées sous forme de moyenne  $\pm$  l'écart-type. Le groupe non irradié et chaque groupe irradié ont été comparés statistiquement. \*\* P < 0,01, \* P < 0,05 (B). CPD : dimères de cyclobutylpyrimidine ; Hg : mercure ; KrCl : chlorure de krypton ; NA : non applicable ; UVC : ultraviolet C.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267957.g002>

## Discussion

L'irradiation avec des UVC de 222 nm a récemment attiré l'attention en tant que méthode de désinfection. En outre, les UVC à 222 nm présentent une activité antimicrobienne contre divers agents pathogènes, dont le SRAS-CoV-2, et sont aussi efficaces que le rayonnement UV d'une lampe Hg basse pression utilisée comme lampe germicide [3-5]. Une lampe Hg basse pression émet principalement des UVC à 254 nm et des UVB à 297, 302 et 313,2 nm. Bien que la composante UVB représente <7 % de la teneur totale en UV, la mutagénicité des CPD induite par le rayonnement UVB est supérieure à celle induite par les UVC dans l'épiderme [18, 19]. Contrairement au rayonnement UV provenant d'une lampe germicide, les UVC de 222 nm émis par une lampe KrCl filtrée se sont révélés sans danger pour la peau lors d'expériences sur des animaux et sur des sujets humains [11, 15, 20-23].

Dans la présente étude, l'irradiation par des rayons UV émis par une lampe Hg basse pression a induit un grand nombre de kératinocytes CPD-positifs dans la peau des souris. En revanche, les UVC émis par une lampe équipée d'un filtre passe-bande n'ont pas induit de manière significative de cellules CPD-positives (Fig 2). Ces résultats sont conformes aux rapports précédents, qui ont démontré que l'irradiation par des UVC de 222 nm émis par une lampe excimère avec un filtre passe-bande à une dose de 150 et 157 mJ/cm<sup>2</sup> n'a pas entraîné d'augmentation significative des cellules CPD-positives dans la peau de souris par rapport à celle de souris non irradiées [21, 24]. Cependant, Hickerson et al. ont démontré que l'irradiation avec des UVC filtrés de 222 nm à une dose élevée de 6 100 mJ/cm<sup>2</sup> a induit une formation minimale de DPC uniquement dans la couche supérieure de l'épiderme d'échantillons de peau humaine [15]. Une moindre induction de DPC par l'irradiation avec des UVC provenant d'une lampe filtrée a été démontrée à la fois dans des expériences sur des animaux et sur des sujets humains. En revanche, l'effet du rayonnement UV émis par la lampe sans filtre passe-bande sur la formation de DPC a été signalé dans un modèle de peau humaine et chez des sujets humains. À l'aide d'un modèle de peau humaine en 3D, Buonanno et al. ont signalé que des expositions à des rayonnements aussi faibles que 23 mJ/cm<sup>2</sup> d'UVC provenant d'un rayonnement de lampe non filtré augmentaient de façon marquée la formation de DPC [13]. Woods et al. ont démontré que l'exposition aux UVC d'une lampe non filtrée induisait la formation de DPC non seulement dans les kératinocytes suprabasaux mais aussi dans les kératinocytes germinaux de la couche basale chez des sujets humains [16]. Cependant, l'effet des UVC d'une lampe non filtrée sur la formation de DPC n'a pas été rapporté dans des expériences sur les animaux.

Dans la présente étude, le rayonnement UV émis par la lampe sans filtre passe-bande a induit un nombre significatif de kératinocytes CPD-positifs à 50, 150 et 300 mJ/cm<sup>2</sup> dans la peau dorsale des souris (Fig 2A et 2B). L'épiderme de souris ne comprend généralement que trois couches cellulaires et son épaisseur est <25 µm, alors que l'épiderme humain constitue couramment 6 à 10 couches cellulaires avec une épaisseur de plus de 50 µm [25]. Bien que la structure de l'épiderme diffère entre les humains et les souris, les UVC 222-nm non filtrés ont induit des cellules CPD-positives dans la couche basale de l'épiderme des souris, comme cela a été montré dans l'épiderme des humains (Fig 2A).

On sait que les UVC émis par une lampe excimère KrCl contiennent 83 % d'UVC de 200~230-nm avec la longueur d'onde d'émission maximale à 222 nm. En plus de cette gamme de longueurs d'onde, le spectre de la lampe contient 10 % d'UVC de 230~280 nm de plus grande longueur d'onde, 3 % d'UVB et 4 % d'UVA [15]. Il a été signalé que le rayonnement UVC émis par une lampe KrCl non filtrée pénètre dans la couche cornée et provoque des lésions de l'ADN dans les kératinocytes de la peau humaine et d'un modèle de peau humaine en 3D [13, 16]. Dans la présente étude, le filtre passe-bande a réduit les UVC et les UVB de 230-280 nm comme le montre la figure 1, tandis que le rayonnement UV émis par la lampe KrCl sans filtre passe-bande, qui comprend les UVC et les UVB, a provoqué un effet nocif chez les souris.