

UV 222nm (FAR-UV) Nowa generacja lamp biobójczych

Spis badań naukowych, publikacji i raportów

Skuteczność, foto-reaktywacja, bezpieczeństwo, leczenie ran i skóry, sale operacyjne i zabiegowe, Ciągła Aktywna Dezynfekcja, kompatybilność materiałowa

Skuteczność wobec pełnego spektrum mikroorganizmów

1. Dalekie-UVC skutecznie dezaktywuje patogeny w powietrzu w komorze wielkości pomieszczenia

“Far-UVC efficiently inactivates an airborne pathogen in a room-sized chamber”, Eadie et al., 2021, Nature Scientific Reports

Badania wykazują, że gdy lampy KrCl są filtrowane w celu usunięcia emisji ultrafioletu o dłuższej długości fali, nie wywołują ostrych reakcji skóry lub oczu, ani opóźnionych efektów, takich jak rak skóry. Podczas gdy istnieją dowody laboratoryjne na skuteczność Far-UVC, istnieją ograniczone dowody w przypadku pomieszczeń o pełnej wielkości. Po raz pierwszy wykazujemy, że Far-UVC zastosowane w komorze o wielkości pomieszczenia skutecznie dezaktywuje rozpylony *Staphylococcus aureus*. Przy szybkości wentylacji pomieszczenia wynoszącej 3 wymiany powietrza na godzinę (ACH) z 5 filtrowanymi źródłami stały ładunek patogenów został zmniejszony o 98,4%, zapewniając dodatkowe 184 równoważne wymiany powietrza (eACH). Tę redukcję osiągnięto przy użyciu Far-UVC zgodnego z obecnymi wartościami progowymi ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) dla skóry przy ciągłej 8-godzinnej ekspozycji. Nasze dane wskazują, że Far-UVC prawdopodobnie będzie skuteczniejsze przeciwko powszechnym wirusom przenoszonym drogą powietrzną, w tym SARS-CoV-2, niż bakteriom, a zatem powinno być skuteczną i „bezdotykową” technologią ograniczającą przenoszenie chorób drogą powietrzną. Wyniki dostarczają danych w skali pomieszczenia, które wspierają projektowanie i rozwój skutecznych systemów Far-UVC.

2. Uszkodzenie DNA zabija spory bakterii i komórki wystawione na działanie promieniowania UV 222 nanometrów

“DNA Damage Kills Bacterial Spores and Cells Exposed to 222-Nanometer UV Radiation”, Willie Taylor et al, Applied and Environmental Microbiology. April 2020 Volume 86 Issue 8 e03039-19

W niniejszym badaniu przeanalizowano działanie bakteriobójcze promieniowania UV 222nm (UV222), które stanowi potencjalnie bezpieczniejszą alternatywę dla promieniowania UV o długości 254 nm (UV254), często stosowanego do dekontaminacji powierzchni. Spory oraz komórki w fazie wzrostu i stacjonarnej *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridioides difficile* oraz herpeswirusa zostały skutecznie zabite lub inaktywowane przez UV222 przy niższych dawkach promieniowania niż w przypadku UV254. Spory i komórki *B. subtilis* pozbawione kluczowego białka naprawczego DNA, RecA, wykazywały większą wrażliwość na UV222, podobnie jak spory pozbawione ochronnych białek DNA, czyli małych, kwasowych białek rozpuszczalnych typu α/β. Obecność dużej ilości kwasu dipikolinowego z jonami wapnia (ok. 25% suchej masy rdzenia) zwiększała odporność sporów *B. subtilis* i *C. difficile* na UV222, natomiast białkowa otoczka spory mogła zapewniać niewielką ochronę przed tym promieniowaniem. Spory *B. subtilis*, które przeżyły naświetlanie UV222, wykazywały dużą liczbę mutacji, a to promieniowanie powodowało powstawanie znanych mutagennych fotoproduktów w DNA komórek i zarodników. W komórkach w fazie wzrostu dominowały dimery pirymidynowe typu cyklobutanowego, natomiast w zarodnikach powstawał addukt α-tyminy z tyminą, zwany fotoproduktem zarodnikowym (SP). Co istotne, utrata kluczowego białka naprawczego SP znacząco obniżyła odporność sporów na UV222. Spory *B. subtilis* poddane działaniu UV222 kielkowały stosunkowo normalnie, a ich zdolność do tworzenia kolonii nie była wrażliwa na sól, co sugeruje, że UV222 nie zabija zarodników poprzez ogólne uszkodzenia białek. Otrzymane wyniki potwierdzają hipotezę, że to uszkodzenia DNA są główną przyczyną śmierci zarodników i komórek pod wpływem promieniowania UV222.

3. Światło ultrafioletowe UVC o długości fali 222 nm inaktywuje szerokie spektrum drobnoustrojów

„Ultraviolet C light with wavelength of 222 nm inactivates a wide spectrum of microbial pathogens”, Narita et al., 2020

W tym badaniu Narita i in. potwierdzają, że UV222 jest wysoce bakteriobójcze w stosunku do szerokiego spektrum patogenów powszechnie występujących w placówkach opieki zdrowotnej, w tym gatunków bakterii, takich jak *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enterica*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, a także gatunki grzybów, takie jak *Candida Albicans* i *Aspergillus Niger*.

4. Zwalczanie podgatunków *Candida albicans* i *Candida parapsilosis* za pomocą dwóch źródeł dalekiego UVC w celu zminimalizowania grzybic w praktyce klinicznej

“Treatment of the Candida subspecies Candida albicans and Candida parapsilosis with two far-UVC sources to minimise mycoses in clinical practice”. Schleusener et al., 2022

Infekcje grzybicze stają się coraz większym problemem, ponieważ wiele gatunków grzybów staje się opornych na leki. W tym badaniu Schleusener i wsp. potwierdzili, że UV222 skutecznie inaktywuje gatunki grzybów *Candida albicans* i *Candida parapsilosis*. Sugeruje to, że UV222 ma ogromny potencjał w zapobieganiu rozprzestrzenianiu się grzybów w praktyce klinicznej.

5. Wpływ dalekiego promieniowania UVC (200-230nm) na patogeny, komórki, skórę i oczy

„The impact of far UVC radiation (200-230nm) on pathogens, cells, skin, and eyes”, Hessling et al., 2021,

W tym obszernym przeglądzie Hessling i in. przedstawiają ponad 100 lat badań nad dezynfekcją UVC, w tym dawki UV wymagane do inaktywacji różnych patogenów. Artykuł zawiera wyczerpującą listę bakterii, wirusów i grzybów, które można wyeliminować za pomocą UV222, wraz z rozbudowanym opisem bezpieczeństwa tej technologii.

6. Ocena skoncentrowanej wielowektorowej dezynfekcji ultrafioletowej z bezcieniowym dostarczaniem przy użyciu 5-punktowego wielostronnego pobierania próbek sprzętu do opieki nad pacjentem bez ręcznej dezynfekcji chemicznej

„Assessment of focused multivector ultraviolet disinfection with shadowless delivery using 5-point multisided sampling of patientcare equipment without manual-chemical disinfection”, Armellino et al., 2019

W tym badaniu Amellino i in. porównali skuteczność dezynfekcji UVC i ręcznego czyszczenia chemicznego. Stwierdzili, że ręczne czyszczenie chemiczne zmniejszyło obciążenie mikrobiologiczne o 52,8%-90,9%, ale UVC zmniejszyło obciążenie mikrobiologiczne o 92%-97,7%. Wynik pokazuje potencjał wykorzystania UVC do dezynfekcji sprzętu w placówkach opieki zdrowotnej.

7. Antybakteryjne działanie filtrowanych lamp ekscimerowych 222 nm w poczekalni szpitalnej

„Anti-microbial effect of filtered 222nm excimer lamps in a hospital waiting area”

W tym badaniu wewnętrzni badacze UV Medico wraz z lekarzami ze Szpitala Uniwersyteckiego Aarhus Skejby oceniają skuteczność lamp UV Medico UV222 w poczekalni szpitalnej. Stwierdzili, że światło znacznie zmniejsza ogólną liczbę bakterii, całkowicie usuwa obszary o wysokiej gęstości bakterii i usuwa ważne patogeny ludzkie, takie jak *Staphylococcus aureus* i *Staphylococcus epidermidis*.

8. Dezynfekcja przy użyciu lamp UV222 firmy UV Medico

„Disinfection using UV222 lamps from UV Medico”: Report, Associate Professor, PhD Christian Kanstrup Holm & cand.scient. Jacob Thyrted Jensen

W tym raporcie naukowcy z Uniwersytetu w Aarhus zbadali skuteczność światła UV Medico UV222 na SARS-CoV-2 i odkryli, że światło dezaktywuje wirusa w ciągu kilku sekund. Potwierdzili również, że światło UV222 może być skutecznie wykorzystywane do zmniejszania liczby bakterii na powierzchniach stołów w barach i biurach. Odkrycia sugerują, że UV222 może być wykorzystywane do utrzymania bezpiecznego środowiska i zmniejszenia ryzyka przenoszenia chorób.

Inaktywacja SARS-CoV-2: Lampa UV222 została zamontowana 0,5 metra nad powierzchnią stołu. Małe kropelki aerozolu zawierające znaną ilość wirusa SARS-CoV-2 umieszczono pod lampą na określony czas przed usunięciem i zbadaniem zakaźności. Wirus SARS-CoV-2, który nie został wystawiony na działanie światła UV222, został uznany za w 100% zakaźny. Po zaledwie 10 sekundach ekspozycji na UV222 wirus był o 70% mniej zakaźny. W miarę jak wydłużano czas ekspozycji, obserwowano ciągły spadek zakaźności wirusa SARS-CoV-2. Po 2 minutach wirus stracił blisko 95% zakaźności w porównaniu z wirusem, który nie został wystawiony na działanie UV222. Po 5 minutach wirus miał 0,000001% zakaźności w porównaniu z wirusem, który nie został wystawiony na działanie UV222

Pomiary zdolności dezynfekcji w realnych warunkach: Lampa UV222TM została umieszczona na suficie baru w odległości 2,3 metra od blatu stołu w Café Dan Turéll w Kopenhadze. Przed włączeniem lampy wykonano pomiary CFU. Następnie lampę UV222TM włączono na 2 godziny, a testy mikrobiologiczne wykonano po 30 minutach, 1 godzinie i 2 godzinach. Liczba żywych bakterii przed włączeniem lampy została oszacowana na ok. 500 CFU/cm². Po 30 minutach ekspozycji na lampę UV222TM liczba żywych bakterii została oszacowana na ok. 22 CFU/cm². Po 1 godzinie liczba żywych bakterii została zredukowana do około 1 CFU/cm², a po 2 godzinach ekspozycji na lampę UV222TM liczba żywych bakterii była poniżej zakresu detekcji.

9. Technologia dalekiego promieniowania ultrafioletowego-C jest skuteczna w dekontaminacji przedmiotów znajdujących się w pobliżu zlewów i jest wspomagana przez powierzchnię odbijającą dalekie UV-C

“A far ultraviolet-C light technology is effective for decontamination of items in proximity to sinks and is enhanced by a far UV-C reflective Surface”, Infection Control & Hospital Epidemiology (2024), 45, 1319–1324. Claire E. Kaple et al.

Rozprzestrzenianie się pałeczek Gram-ujemnych z odpływów umywalkowych zostało uznane za źródło transmisji w wielu ogniskach choroby. W szpitalu opieki doraźnej oceniliśmy, jak często artykuły do pielęgnacji pacjentów i inne często dotykane przedmioty znajdowały się w odległości 1 metra od odpływów umywalkowych. Przetestowaliśmy skuteczność technologii światła ultrafioletowego (UV-C) montowanego na suficie do dekontaminacji misek umywalkowych i powierzchni w pobliżu umywalk z folią odbijającą światło UV-C montowaną na ścianie lub bez niej. Spośród 190 ocenionych umywalk, 55 (29%) miało artykuły do pielęgnacji pacjentów lub inne często dotykane przedmioty w odległości 1 metra od odpływu. Technologia UV-C zmniejszyła *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter cloacae* i *Candida auris* na nośnikach krążków stalowych o $\geq 1,5 \log_{10}$ jednostek tworzących kolonie (CFU) w ciągu 45 minut. W przypadku zaszczepionych przedmiotów rzeczywistych, $\geq 1,9 \log_{10}$ CFU redukcji *P. aeruginosa* osiągnięto w miejscach zgodnych ze źródłem światła w porównaniu do 0,4–1,8 $\log_{10}$ CFU redukcji na zacienionych powierzchniach. Dodanie odbłaskowej powierzchni znacznie zwiększyło skuteczność w zacienionych miejscach ($P < 0,01$). W warunkach szpitalnych artykuły do pielęgnacji pacjentów i inne często dotykane przedmioty często znajdowały się w pobliżu zlewów. Technologia dalekiego światła UV-C może być potencjalnie przydatna do dekontaminacji zlewów w obszarach wysokiego ryzyka.

10. Prognozowanie inaktywacji koronawirusa w powietrzu przez dalekie promieniowanie UVC w pomieszczeniach zajętych przez ludzi przy użyciu wiernego sprzężonego modelu CFD

“Predicting airborne coronavirus inactivation by far-UVC in populated rooms using a high-fidelity coupled radiation-CFD model”, Andrew G. Buchan, Liang Yang & Kirk D. Atkinson, Nature Scientific Reports volume 10, Article number: 19659 (2020)

W szpitalach i placówkach opieki długoterminowej, szczególnie w przypadku grup wrażliwych, istnieje zwiększone ryzyko zarażenia się COVID-19. W tych środowiskach koronawirus w postaci aerozolu uwalniany podczas oddychania zwiększa ryzyko rozprzestrzeniania się choroby. Aby zmniejszyć transmisję aerozolu, zaproponowano stosowanie oświetlenia dalekiego UVC o niskiej dawce do dezynfekcji powietrza w pomieszczeniu. W przeciwieństwie do typowego UVC, które jest stosowane do zabijania mikroorganizmów od dziesięcioleci, ale jest rakotwórcze i powoduje zaćmę, ostatnie dowody wykazały, że dalekie UVC jest bezpieczne do stosowania w pobliżu ludzi. Opracowano wysokiej jakości, w pełni sprzężony model transportu promieniowania i dynamiki płynów w celu określenia wskaźników dezynfekcji w typowych wentylowanych pomieszczeniach. Model pokazuje, że wskaźniki dezynfekcji wzrastają o kolejne 50–85% przy stosowaniu dalekiego UVC w ramach obecnie zalecanych poziomów narażenia w porównaniu z samą wentylacją pomieszczenia. Przy takiej skali redukcji

oświetlenie dalekiego UVC można by wykorzystać do złagodzenia transmisji SARS-CoV-2 przed nadejściem przyszłych fal lub początkiem zimy, kiedy ryzyko infekcji jest wyższe. Jest to szczególnie istotne w pomieszczeniach o słabej wentylacji, gdzie inne sposoby ograniczania ryzyka nie sprawdzają się, ponadto można zmniejszyć dystans społeczny bez zwiększania ryzyka.

11. Światło Far-UVC 222 nm wyraźnie zmniejsza poziom zakaźnego wirusa przenoszonego drogą powietrzną w zajęтым pomieszczeniu

„222 far-UVC light markedly reduces the level of infectious airborne virus in an occupied room”, *Nature Scientific Reports* | (2024) 14:6722 Manuela Buonanno, Norman J. Kleiman, David Welch, Raabia Hashmi, Igor Shuryak 1 & David J. Brenner

Nowoczesną metodą kontroli pandemii i epidemii przenoszonych drogą powietrzną jest naświetlanie całego pomieszczenia dalekim UVC (200–235 nm). Badania laboratoryjne wykazały, że światło 222 nm dezaktywuje patogeny unoszące się w powietrzu, potencjalnie bez szkody dla narażonych osób. Podczas gdy zachęcające wyniki raportowane w badaniach laboratoryjnych i w komorach bioaerozolowych wielkości pomieszczenia, istnieje potrzeba ilościowych badań nad redukcją patogenów w powietrzu w pomieszczeniach w zajmowanych przez ludzi. Określiśmy ilościowo redukcję aerozolu norowirusa mysiego (MNV) w zajęтым pomieszczeniu przeznaczonym do czyszczenia mysich klatek w zakładzie opieki nad zwierzętami. Badania laboratoryjne sugerują, że MNV jest konserwatywnym surogatem dla wirusów przenoszonych drogą powietrzną takich jak grypa i koronawirus. Używając czterech urządzeń 222 nm zainstalowanych w suficie i pozostając w ramach obecnie zalecanych limitów regulacyjnych, dalekie UVC zmniejszyło unoszące się w powietrzu zakaźne MNV o 99,8% (95% CI: 98,2-99,9%). Podobnie jak w poprzednich badaniach komory bioaerozolu wielkości pomieszczenia dotyczących skuteczności far-UVC wyniki te sugerują, że podatność na wirusy w aerozolu jest znacznie wyższa w testach w skali pomieszczenia niż w badaniach laboratoryjnych. To powiedziawszy, w przeciwieństwie do kontrolowanych badań laboratoryjnych, niepewności w tym badaniu związane z wzorcami przepływu powietrza, czasem przebywania wirusa i dawką do zebranego wirusa wprowadzają niepewność do szacunków inaktywacji. Badanie to jest pierwszym, które bezpośrednio wykazuje skuteczność antybakteryjną dalekiego UVC przeciwko patogenom przenoszonym drogą powietrzną w zajęтым pomieszczeniu.

12. Przerywane napromieniowanie małą dawką dalekiego UVC hamuje wzrost pospolitych pleśni poniżej wartości progowej

„Intermittent low-dose far-UVC irradiation inhibits growth of common mold below threshold limit value”, *E.H. Mogensen, C. Kanstrup Holm, 2024*

Występowanie pleśni w budynkach stanowi poważne wyzwanie dla zdrowia ludzi, dotykając zarówno domy prywatne, jak i szpitale. Podczas gdy pleśnie powszechnie wywołują astmę i alergie u osób z prawidłową odpornością, mogą powodować choroby zagrażające życiu u osób z obniżoną odpornością. Obecnie istnieje niezaspokojona potrzeba nowych strategii ograniczania lub zapobiegania zakażeniom pleśnią. Technologia Far-UVC 222nm może dezaktywować mikroorganizmy, pozostając jednocześnie bezpieczną dla ludzi. W niniejszym badaniu zbadano skuteczność hamowania wzrostu powszechnych grzybów wytwarzających pleśń, w szczególności *Penicillium candidum*, gdy UV dostarczano w cyklach pracy włącz-wyłącz o niskiej dawce, konfiguracji zgodnej z zastosowaniem w warunkach rzeczywistych. Hamujący wpływ cykli pracy o niskiej dawce oceniano na wzrost wywołany przez 1.) sąsiadującą dawkę *P. candidum* wytwarzającego zarodniki oraz 2) zarodniki *P. candidum* wysiane bezpośrednio na płytki agarowe. W obu konfiguracjach światło dalekiego UVC znacząco hamowało zarówno pionowy, jak i poziomy wzrost *P. candidum*, nawet gdy dawki UV były poniżej wartości progowej 23 mJ/cm². Wyniki te sugerują, że światło dalekiego UVC ma potencjał poprawy jakości powietrza w pomieszczeniach poprzez redukcję lub zapobieganie rozwojowi pleśni, również w obecności ludzi.

13. Efekt dezaktywujący promieniowania ultrafioletowego-C 222 nm na mykobakterie niegruźlicze

„Inactivating effect of 222-nm far ultraviolet-C radiation on nontuberculous mycobacteria”, *C. Kajiwara, et al., American Journal of Infection Control* (2025)

Mykobakterie niegruźlicze (NTM) są wszechobecne i mogą być wdychane z domowych źródeł wody, co stwarza potencjalne ryzyko płucnej choroby NTM. Ekspozycja na daleki ultrafiolet-C 222 nm wykazuje porównywalną skuteczność inaktywacji do ultrafioletu-C 254 nm, przy jednoczesnym zastosowaniu specjalistycznych filtrów optycznych w celu znacznego zwiększenia bezpieczeństwa dla ludzkiej skóry i oczu. Ekspozycja NTM na promieniowanie dalekiego ultrafioletu-C 222 nm wykazała zależny od natężenia promieniowania efekt inaktywacji, podkreślając jego potencjał jako bezpiecznego i skutecznego środka do dezynfekcji wody.

14. Specyficzne dla długości fali mechanizmy inaktywacji i skuteczność bakteriobójczego UVC w przypadku unoszącego się w powietrzu koronawirusa ludzkiego

„Wavelength-specific inactivation mechanisms and efficacies of germicidal UVC for airborne human coronavirus”, *Y.H. Lu, et.al, Journal of Hazardous Materials, Volume 484, 2025*

Najważniejsze informacje:

- Far-UVC o długości fali 222 nm przewyższyło UVC o długości fali 254 nm i 263 nm w inaktywacji unoszącego się w powietrzu koronawirusa.
- Inaktywacja przy długości fali 254 nm i 263 nm opiera się głównie na uszkodzeniu genomu.
- Lampa ekscymerowa KrCl 222 nm uszkadza nie tylko genomy, ale także białka i lipidy.
- Charakterystyka absorpcji składników biologicznych znacząco kształtuje widma działania.

15. Badanie efektu dezynfekcji lampy ekscymerowej UVC o długości fali 222 nm na powierzchni przedmiotu

“Study on disinfection effect of a 222-nm UVC excimer lamp on object surface”, *Peiyong Ning et al., AMB Express . 2023 Sep 27;13(1)*

Skuteczna dezynfekcja zanieczyszczonych powierzchni jest niezbędna do zapobiegania przenoszeniu patogenów. W tym badaniu zbadaliśmy natężenie

promieniowania UV i rozkład długości fali lampy excimerowej ultrafioletowej C (UVC) 222 nm oraz jej skuteczność dezynfekcji przeciwko mikroorganizmom w warunkach laboratoryjnych. Korzystając z ilościowego testu bakteriobójczego nośnika z arkuszami ze stali nierdzewnej jako nośnikami, zbadaliśmy efekt dezynfekcji lampy UVC 222 nm na trzy standardowe szczepy — *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* i *Pseudomonas aeruginosa*. Przetestowaliśmy skuteczność dezynfekcji w różnych warunkach, dostosowując czas naświetlania, a także stan i temperaturę nośników ze stali nierdzewnej. Nasze wyniki wskazały, że zawiesina bakteryjna w PBS i nie wysuszone nośniki ze stali nierdzewnej dały lepszą dezynfekcję niż w TSB na wysuszonych nośnikach. Ponadto temperatura nośnika nie miała znaczącego wpływu na skuteczność dezynfekcji. Podczas stosowania zawiesiny bakteryjnej w PBS i nie wysuszonych nośników w temperaturze 20°C, trzy bakterie zostały wyeliminowane przez naświetlanie lampą excimerową UVC 222 nm w ciągu zaledwie 15 sekund. Natomiast podczas stosowania zawiesiny bakteryjnej w TSB i wysuszonych nośnikach w temperaturach 20°C, 4°C lub -20°C, trzy bakterie zostały wyeliminowane przez naświetlanie lampą excimerową UVC o długości fali 222 nm w ciągu 60 sekund. Dla porównania, niskoprężna lampa rtęciowa (254nm) potrzebowała ponad 10 minut, aby osiągnąć ten sam efekt dezynfekcji. Nasze dane pokazują, że lampa excimerowa UVC 222 nm ma wyższe natężenie promieniowania i silniejszy efekt dezynfekcji mikrobiologicznej niż lampa niskoprężna lampa rtęciowa (254nm), wymagając znacznie krótszego czasu naświetlania, aby osiągnąć ten sam efekt dezynfekcji w identycznych warunkach. Ponadto lampa excimerowa UVC 222 nm wykazała znaczący efekt dezynfekujący na propagule bakteryjne w niskich temperaturach. Nasze ustalenia potwierdzają optymalizację urządzeń do dezynfekcji towarów w łańcuchach chłodniczych typu „tunel”, zapewniając alternatywne, wysoce wydajne i praktyczne narzędzie do zwalczania rozprzestrzeniania się SARS-CoV-2 w systemach łańcuchów chłodniczych.

Blokowanie foto-reaktywacji bakterii

1. Reaktywne formy tlenu biorą udział w hamowaniu fotoreaktywacji gronkowca złocistego napromienianego dalekim UV-C 222 nm

“Reactive oxygen species are involved in inhibition of photoreactivation of Staphylococcus aureus irradiated with 222-nm Far ultraviolet C”, Risako Fukushi, et al. Photochemistry and Photobiology, 2025

Promieniowanie ultrafioletowe-C (UV-C) o długości fali 254 nm jest stosowane do dezynfekcji, ale nie może być stosowane w przestrzeni z ludźmi, ponieważ jest szkodliwe dla ludzkiego ciała, podczas gdy 222 nm Far UV-C wykazuje działanie bakteriobójcze i stwarza niewielkie zagrożenie dla ludzi. Tworzenie dimerów cyklobutanu pirymidyny (CPD) DNA jest głównym mechanizmem działania bakteriobójczego UV-C. CPD utworzone promieniowaniem UV-C o długości fali 254 nm jest naprawiane, a proliferacja bakterii jest przywracana przez fotoreaktywację. W tym badaniu badaliśmy fotoreaktywację *Staphylococcus aureus* napromienianego przez Far UV-C 222 nm. Efekt proliferacyjny *S. aureus* napromienianego Far UV-C 222 nm przez fotoreaktywację był niższy od efektu napromieniania promieniowaniem UV-C 254 nm. Długość fali UV-C 254 nm i Far UV-C 222 nm indukowały CPD w komórkach *S. aureus*, a ten sam poziom CPD został naprawiony w komórkach napromienianych UV-C po fotoreaktywacji. Raportowano, że UV-C indukuje wytwarzanie reaktywnych form tlenu (ROS) w bakteriach i że ROS utleniają i inaktywują różnorodne białeczki w bakteriach. Badanie to wykazało, że po napromienianiu Far UV-C 222 nm zaobserwowano więcej *S. aureus* produkujących ROS w porównaniu z UV-C 254 nm. Wyniki te wskazują, że ROS mogą być zaangażowane w niższą fotoreaktywację *S. aureus* napromienianego przez Far UV-C 222 nm.

2. Reaktywne formy tlenu generowane irradycją filtrowanym pasmowo-przepustowym Far-UVC 222 nm odgrywają ważną rolę w mechanizmie bakteriobójczym wobec *Escherichia coli*

“Reactive oxygen species generated by irradiation with bandpass-filtered 222-nm Far-UVC play an important role in the germicidal mechanism to Escherichia coli”, Kouji Narita et. al., ASM Journals, Applied and Environmental Microbiology, Vol. 91, No. 2, 2025

Światło ultrafioletowe-C (UV) C emitowane przez lampę kryptonowo-chlorkową (KrCl) składa się głównie z mniej szkodliwego 222-nm Far-UVC (niefiltrowanego 222-nm Far-UVC) w porównaniu z konwencjonalnie stosowanym 254-nm UVC. Zawiera również długości fal szkodliwe dla komórek ssaków. Natomiast UVC z lampy KrCl z filtrem optycznym (filtrowane 222-nm Far-UVC) składa się z dużo mniej szkodliwego 222-nm Far-UVC i jest dostępne do sterylizacji pomieszczeń podczas obecności ludzi. Mechanizmy bakteriobójcze 254-nm UVC i niefiltrowanego 222-nm Far-UVC zostały częściowo wyjaśnione; jednak mechanizm działania filtrowanego 222-nm Far-UVC pozostaje nieznan. Wiadomo, że 254 nm UVC indukuje dimery pirymidynowe cyklobutenu (CPD), które są uszkodzeniami DNA w *Escherichia coli* (*E. coli*); jednak CPD są naprawiane przez fotoreaktywację. W niniejszym badaniu wykazano, że filtrowane 222-nm Far-UVC również generowało CPD, lecz nie były naprawiane przez fotoreaktywację. Dlatego mechanizm bakteriobójczy filtrowanego 222-nm Far-UVC może różnić się od 254-nm UVC. Doniesiono, że niefiltrowane 222-nm Far-UVC indukowało reaktywne formy tlenu (ROS) w *E. coli*. W niniejszym badaniu filtrowane 222-nm Far-UVC również indukowało produkcję ROS. Zgodnie ze zwiększoną produkcją ROS, poziomy karbonylowanych białek wzrosły, a w *E. coli* zaobserwowano zmiany morfologiczne. Na podstawie tych wyników zasugerowano, że ROS generowane przez filtrowane 222-nm Far-UVC inaktywowały enzymy wychwytyjące ROS i enzym fotolizę, który bierze udział w fotoreaktywacji. Zwiększone poziomy ROS

Bezpieczeństwo

1. Bezpieczeństwo oczu względem napromieniania całego pomieszczenia bakteriobójczym Far-UV-C 222nm: 36-miesięczna obserwacja kliniczna

“Ocular safety of 222-nm far-ultraviolet-c full-room germicidal irradiation: A 36-month clinical observation”, Sugihara K, Kaidzu S, Sasaki M, et al. Photochem Photobiol. 2024

Bezpieczeństwo oczu w przypadku promieniowania dalekiego ultrafioletu C (UV-C) o długości fali 222 nm, powszechnie uznanego za bakteriobójcze, zostało ocenione w warunkach klinicznych w celu oszacowania jego długoterminowego wpływu na zdrowie ludzkiego oka. To prospektywne badanie obserwacyjne obejmowało 36-miesięczną obserwację lekarzy pracujących w gabinecie okulistycznym wyposażonym w lampy UV-C 222 nm. Początkowo 12-miesięczna

obserwacja nie wykazała żadnych oznak ostrego lub przewlekłego uszkodzenia oka. Aby dodatkowo uzasadnić te ustalenia, okres badania został wydłużony do 36 miesięcy, podczas których czterech uczestników przeszło regularne badania oczu, w tym ocenę ostrości wzroku, wady refrakcji i gęstości komórek śródbłonka rogówki. Dawka napromieniowania była skrupulatnie kontrolowana, aby mieścić się w poprzednim limicie progowym 22 mJ/cm^2 w okresie 8 godzin, zgodnie z zaleceniami ACGIH wydanymi przed 2022 r. Wyniki nie wykazały istotnych zmian w tych parametrach, co sugeruje brak klinicznie istotnych zagrożeń dla oczu związanych z przedłużoną ekspozycją na promieniowanie UV-C 222 nm w warunkach rzeczywistych. Ponadto nie zaobserwowano opóźnionych skutków ubocznych, takich jak skrzydlik, keratopatie lub zaćma. Nasze badanie potwierdza bezpieczne stosowanie promieniowania UV-C o długości fali 222 nm do dezynfekcji mikrobiologicznej w zajmowanych środowiskach i stanowi solidną podstawę dla zaktualizowanych wytycznych dotyczących bezpieczeństwa.

2. Przewlekłe napromieniowanie światłem UVC o długości fali 222 nm nie powoduje uszkodzeń DNA ani zmian naskórkowych w skórze myszy, nawet przy wysokich dawkach.

“Chronic irradiation with 222-nm UVC light induces neither DNA damage nor epidermal lesions in mouse skin, even at high doses”, Narita et al., 2018

W badaniu tym Narita i inni porównali uszkodzenia skóry i DNA u myszy narażonych na promieniowanie UV o długości fali 222 nm i 254 nm. Odkryli, że 254 nm powodowało zarówno oparzenia słoneczne, jak i uszkodzenia DNA, podczas gdy 222 nm nie uszkadzało skóry ani DNA, nawet przy wysokich dawkach. Wyniki te wskazują, że światło UV222 może być bezpiecznie stosowane do naświetlania skóry.

3. Ekstremalna ekspozycja na filtrowane dalekie UV: studium przypadku

„Extreme exposure to filtered far-UVC: a case study”, Eadie et al., 2021,

W tym studium przypadku Eadie i inni, wystawiono przedramię ochotnika na działanie wysokich dawek światła UV222, w zakresie od 1500 do 18000 mJ/cm^2 , które są znacznie wyższe niż obowiązujący dzienny limit ekspozycji wynoszący 23 mJ/cm^2 . Naukowcy zbadali wizualne zmiany na skórze i stwierdzili, że pomimo wysokich dawek, skóra pozostała nienaruszona.

4. Skuteczność bakteriobójcza i bezpieczeństwo światła UV 222 nm dla skóry ssaków

„Germicidal efficacy and mammalian skin safety of 222-nm UV light”, Buonanno et al., 2020

W tym artykule Buonanno i in. badają zdolność światła UV222 do zabijania MRSA i oceniają bezpieczeństwo napromieniania skóry ssaków. Stwierdzili, że promieniowanie UV222 nm skutecznie zabija MRSA, pozostawiając jednocześnie skórę bez uszkodzeń, przeciwieństwie do światła UV 254 nm.

5. Ponowna ocena uszkodzenia rogówki szczurów przez promieniowanie UV o krótkiej długości fali ujawniła znacznie mniej niebezpieczne właściwości dalekiego UV-C

„Re-evaluation of rat corneal damage by short-wavelength UV revealed extremely less hazardous property of far UV-C”, Kaidzu et al., 2021

W tym badaniu Kaidzu i wsp. zbadali wpływ światła o długości fali 222 nm i 254 nm na rogówkę. Stwierdzono, że światło 222 nm nie przenika przez rogówkę, w przeciwieństwie do światła 254 nm, które przenika przez wszystkie warstwy rogówki. Naukowcy doszli do wniosku, że światło UV 222 nm jest znacznie mniej niebezpieczne niż światło UV 254 nm.

6. Absorpcja dalekiego promieniowania UV w rogówce świni

„Far-UVC Absorption in Pig Cornea „

W tym raporcie wewnętrzni badacze UV Medico, wraz z doktorem i profesorem klinicznym, przeprowadzili badanie mające na celu zmierzenie wpływu UV222 na rogówkę świni. Świńskie rogówki są anatomicznie i fizjologicznie podobne do ludzkich, dzięki czemu mogą służyć jako model dla ludzkich rogówek. Naukowcy zbadali transmisję UV222 przez rogówkę i stwierdzili, że jest ona bardzo ograniczona. Wskazuje to, że UV222 jest bezpieczne w użyciu i nie powoduje uszkodzenia oka.

7. Dezynfekcja komórek śródbłonka rogówki ludzkiej i wieprzowej za pomocą promieniowania dalekiego UVC

“Disinfection of Human and Porcine Corneal Endothelial Cells by Far-UVC Irradiation”, by Ben Sicks, Medicina 2025

Rogówka chroni oko przed wpływami zewnętrznymi i przyczynia się do jego mocy refrakcyjnej. Rogówki należą do najczęściej przeszczepianych tkanek, stanowiąc ostatnią deskę ratunku dla zachowania wzroku pacjenta. Na całym świecie istnieje duże zapotrzebowanie na rogówki dawców, ale prawie 4% tych przeszczepów nie kwalifikuje się z powodu skażenia mikrobiologicznego. Celem tego badania jest ustalenie przydatności Far-UVC 222 nm do dekontaminacji rogówki bez uszkadzania komórek śródbłonka rogówki. Aby ocenić niszczący wpływ napromieniowania, a tym samym zidentyfikować dawkę konieczną do dekontaminacji rogówki bez naruszania jej integralności, 141 rogówek świńskich napromieniano UV 222 nm dawką 0, 60 lub 150 mJ/cm^2 . W drugim etapie serię 13 ludzkich rogówek poddano półstronnemu napromienianiu przy użyciu 15 lub 60 mJ/cm^2 przy 222 nm. Po pięciu dniach hodowli in vitro gęstość komórek śródbłonka nienapromienianego obszaru każdej ludzkiej rogówki porównano z obszarem napromienianym. Wyniki: Napromienianie do 60 mJ/cm^2 nie miało wykrywalnie istotnego wpływu na integralność komórek ludzkiej rogówki ($p = 0,764$), zaobserwowano jedynie minimalną redukcję gęstości komórek o 3,7%. Wyniki te zostały częściowo potwierdzone testami na rogówkach świńskich, w których zmienność między grupami testowymi była stała, nawet przy zwiększonych dawkach napromieniania do 150 mJ/cm^2 , a nie monitorowano żadnych zauważalnych efektów na napromieniany śródbłonek świński. Skuteczność leczenia przeciwdrobnoustrojowego była widoczna w testach dezynfekcji przeprowadzonych na rogówkach. Wnioski: Wstępne eksperymenty z napromienianiem wykazały, że promieniowanie Far-UVC 222 nm ma potencjał do dekontaminacji rogówki bez narażania na szwank żywotności wrażliwych komórek śródbłonka.

8. Eksperymenty interwencyjne dotyczące bezpieczeństwa oczu człowieka w przypadku napromieniowania dalekim ultrafioletem 222 nm za pomocą lampy UV-C

“Interventional human ocular safety experiments for 222-nm far-ultraviolet-C lamp irradiation”, Kazunobu Sugihara; Sachiko Kaidzu; Masahiro Sasaki; Masaki Tanito, Photochemistry and Photobiology, 2024

Badanie miało na celu bezpośrednią ocenę bezpieczeństwa oczu u ludzi pod względem iradiacji dalekim ultrafioletem-C (UVC) 222nm, biorąc pod uwagę ograniczone badania kliniczne w tej dziedzinie. Ta długość fali oferuje potencjał bezpiecznej i skutecznej inaktywacji drobnoustrojów w zajmowanych

przestrzeniach, ale jej profil bezpieczeństwa dla ludzkich oczu wymaga dokładnego zbadania. W tym prospektywnym, interwencyjnym badaniu wzięło udział pięć osób w wieku 29-47 lat, którzy byli narażeni na 222-nm UVC w dawkach 22, 50 i 75 mJ/cm². Badani byli monitorowani za pomocą wykonanych na zamówienie okularów z filtrem UV na jednym oku, aby służyć jako kontrola. Naświetlanie UVC przeprowadzono przy użyciu lampy ekscymerowej KrCl a badania okulistyczne przeprowadzono przed ekspozycją, 24 godziny po ekspozycji i 24 godziny po ekspozycji, oraz po 1, 3 i 6 miesiącach. Oceniane parametry obejmowały ostrość wzroku, błąd refrakcji, gęstość śródbłoka rogówki, wyniki erozji rogówki oraz wyniki przekrwienia spojówek. W badaniu nie stwierdzono klinicznie istotnego fotokeratitis lub długotrwałego uszkodzenia oczu u pięciu badanych, nawet przy najwyższej dawce dawce 75 mJ/cm². Zgłaszano tymczasowy dyskomfort oczu, w tym uczucie suchości i łzawienie, ale objawy te ustępowały w ciągu kilku godzin po napromieniowaniu. Wyniki wskazują, że dalekie UVC 222-nm do 75 mJ/cm² nie powoduje „klinicznie istotnego fotokeratitis” ani długotrwałego uszkodzenia oczu, choć może wywoływać tymczasowy dyskomfort. Potwierdza to bezpieczne stosowanie 222 nm UVC do zastosowań bakteriobójczych w środowiskach przebywania ludzi, zapewniając podstawę dla zrewidowanych wytycznych dotyczących bezpieczeństwa.

9. Narażenie człowieka na zanieczyszczenia powietrza podczas działania systemu dalekiego UVC w biurze: wpływ położenia lampy i warunków wentylacji

“Human exposure to air contaminants under the far-UVC system operation in an office: effects of lamp position and ventilation condition”, Seongjun Park & Donghyun Rim, Nature Scientific Reports volume 14, Article number: 24465, (2024)

System dalekiego UVC (222 nm) pojawił się jako rozwiązanie do kontrolowania transmisji w powietrzu, jednak jego wpływ na jakość powietrza w pomieszczeniach, szczególnie w odniesieniu do pozycjonowania, pozostaje niedostatecznie zbadany. W tym badaniu, zbadaliśmy wpływ położenia lampy far-UVC na dezynfekcję i powstawanie wtórnych zanieczyszczeń w małym biurze. Zastosowaliśmy trójwymiarowy model obliczeniowej dynamiki płynów (CFD) model do integracji pól intensywności UV utworzonych przez różne pozycje lamp (montowane na suficie, montowane na ścianie, i wolnostojące) wraz z modelem jakości powietrza. Nasze odkrycia pokazują, że typ sufitowy zmniejsza narażenie ludzi na patogeny unoszące się w powietrzu nawet o 80% w porównaniu ze scenariuszami bez dalekiego promieniowania UV. Dla wszystkich pozycji lampy, stężenie O₃ w strefie oddychania wzrasta o 4-6 ppb po jednej godzinie pracy. Należy jednak zauważyć, że strefa wysokiego stężenia (> 25 ppb) tworzy się w pobliżu lampy, gdy jest ona włączona. Ponadto wentylacja odgrywa kluczową rolę w określaniu narażenia ludzi na unoszące się w powietrzu patogeny i wtórne zanieczyszczenia. Zwiększenie szybkości wentylacji z 0,7 h⁻¹ do 4 h⁻¹ zmniejsza stężenie patogenów i wtórnych zanieczyszczeń w powietrzu nawet o 90%. Należy jednak zachować ostrożność, ponieważ wyższe szybkości wentylacji mogą prowadzić do podwyższonego stężenia O₃ w pomieszczeniach, szczególnie w warunkach wysokiego stężenia O₃ na zewnątrz.

10. Światło dalekiego UVC 222 nm wykazuje znaczący potencjał bezpiecznego i skutecznego unieszkodliwiania patogenów przenoszonych drogą powietrzną w zajmowanych pomieszczeniach

„Far-UVC Light at 222 nm is Showing Significant Potential to Safely and Efficiently Inactivate Airborne Pathogens in Occupied Indoor Locations”, Brenner D. J. (2023), Photochemistry and photobiology, 99(3),

Światło Dalekiego UVC (UVC poniżej 235 nm) to stosunkowo nowa modalność o znacznym potencjale do bezpiecznej i bardzo skutecznej inaktywacji patogenów unoszących się w powietrzu w zajętych w pomieszczeniach. Istnieją obecnie znaczące i liczne dowody zarówno pod względem bezpieczeństwa dalekiego UVC dla bezpośredniej ekspozycji na promieniowanie w pomieszczeniach zamkniętych, a także pod względem jego skuteczności w znacznym zmniejszaniu poziomów aktywnych patogenów unoszących się w powietrzu. W tym artykule dokonano przeglądu zarówno bezpieczeństwa far-UVC, które ma wyraźne podstawy mechanistyczne, oraz jego skuteczność, zarówno w laboratorium, jak i w pełnowymiarowych pomieszczeniach. Podkreślono artykuł autorstwa Ma i wsp. w tym wydaniu Photochemistry and Photobiology, który dotyczy skuteczności światła dalekiego UVC (w tym przypadku dla 222 nm) przeciwko szerokiemu spektrum powszechnych patogenów, w tym SARS-CoV-2 i wirusów grypy. Na podstawie ich danych i w oparciu o nasze zrozumienie w dużej mierze losowy charakter uszkodzeń wywołanych przez UVC w genomie, oczekuje się, że dalekie UVC będzie skuteczne przeciwko wobec następnego wirusa pandemicznego, jeśli i kiedy się pojawi.

11. Dawki promieniowania dalekiego UVC dla oczu i twarzy z lamp sufitowych 222 nm dalekiego UVC

“Ocular and Facial Far-UVC Doses from Ceiling-Mounted 222 nm Far-UVC Fixtures”. Photochemistry and Photobiology, 2023, 99: 160–167. Michael A. Duncan, David Welch, Igor Shuryak and David J. Brenner

Promieniowanie dalekiego UVC, zdefiniowane w niniejszym artykule jako promieniowanie ultrafioletowe (UV) o długości fali od 200 do 235 nm, jest obiecującym narzędziem pomagającym w zapobieganiu rozprzestrzenianiu się chorób. Unikalną zaletą technologii dalekiego UVC w porównaniu do tradycyjnego bakteriobójczego promieniowania UV jest możliwość bezpośredniego stosowania dalekiego UVC w przestrzeniach zajętych, ponieważ dawki przeciwdrobnoustrojowe dalekiego UVC są znacznie niższe niż zalecane dzienne bezpieczne limity ekspozycji. W tym badaniu zastosowano sufitową lampę dalekiego UVC emitującą 222 nm do bezpośredniego naświetlania przestrzeni wewnętrznej, a następnie oceniono dawki otrzymane przez manekina. Na głowie, nosie, ustach i oczach manekina umieszczono światłoczułą folię, a następnie określono równoważną dawkę ekspozycji w ciągu 8 godzin. Badane zmienne obejmowały wysokość manekina (pozycja siedząca lub stojąca), przesunięcie manekina względem bezpośredniego położenia pod emitерem, jego nachylenie, dodanie okularów, dodanie włosów oraz różne rozmiary cech anatomicznych. Co istotne, w pozycji manekina, w której odnotowano najwyższą dawkę dla oczu, średnia dawka dla oczu wynosiła jedynie 5,8% maksymalnej bezpośrednio zmierzonej dawki. Wyniki te stanowią pierwszą eksperymentalną analizę możliwych dawek ekspozycji, jakie człowiek mógłby doświadczyć w pomieszczeniu wyposażonym w instalację dalekiego UVC.

12. Skuteczność promieniowania LED dalekiego UV-C o długości fali 233 nm przeciwko klinicznie istotnym szczepom bakterii w fazie 2/etapie 2 testu in vitro na podstawie normy EN 14561 i na modelu komórek naskórka

“Efficacy of 233 nm LED far UV-C-radiation against clinically relevant bacterial strains in the phase 2/ step 2 in vitro test on basis of EN 14561 and on an epidermis cell model”, C. Sicher, Axel Kramer et al. Microbes Infect. 2024 ;26(4):105320

Zakażenia nabyte w placówkach służby zdrowia i nadużywanie antybiotyków są powszechnym problemem. Rosnąca oporność na antybiotyki i środki antyseptyczne wymaga nowych metod dekontaminacji drobnoustrojów lub dekolonizacji, takich jak stosowanie promieniowania dalekiego UV-C. Skuteczność mikro-biobójczą promieniowania UV-C (222 nm, 233 nm, 254 nm) określono w ilościowym teście nośnikowym i na trójwymiarowych modelach naskórka przeciwko Staphylococcus (S.) aureus, S. epidermidis, S. haemolyticus, S. lugdunensis, Klebsiella pneumoniae i Pseudomonas aeruginosa. Aby naśladować realistyczne warunki, użyto roztworu chlorku sodu, mucyny, albuminy, sztucznej śliny, sztucznego wysięku z rany i sztucznego potu. Wyniki: W roztworze chlorku sodu napromieniowanie dawką 40 mJ/cm² (233 nm) było wystarczające do uzyskania redukcji 5 lg niezależnie od rodzaju lub gatunku bakterii. W sztucznym pocie, albuminie i sztucznym wysięku z rany osiągnięto redukcję >3 lg dla większości bakterii. Mucyna i sztuczna ślina

zmniejszyły redukcję do <2 lg. Na modelach naskórka 3D redukcja była niższa niż w teście nośnika. Wniosek: Udowodniono, że promieniowanie UV-C o długości fali 233 nm jest skuteczne w inaktywacji bakterii niezależnie od rodzaju lub gatunku, będąc tym samym obiecującym kandydatem do zastosowań klinicznych w obecności ludzi i na skórze/błonach śluzowych.

13. Uszkodzenia DNA zależne od długości fali wywołane pojedynczymi długościami fal UV-C (215 do 255 nm) w modelu rogówki ludzkiej

“Wavelength-dependent DNA damage induced by single wavelengths of UV-C radiation (215 to 255 nm) in a human cornea model”, Buonomano, M., Hashmi, R., Petersen, C.E. et al. Nature Scientific Reports 15, 252 (2025)

Organy naukowe nadzorujące ochronę przed promieniowaniem UV zalecają limity bezpieczeństwa dotyczące narażenia na promieniowanie ultrafioletowe w miejscu pracy na podstawie opublikowanych recenzowanych danych. Aby wesprzeć ten cel, wykorzystano trójwymiarowy model rogówki ludzkiej do oceny zależności długości fali od uszkodzeń rogówki wywołanych promieniowaniem UV-C. W pierwszym zestawie eksperymentów modele były ekspozowane z symulowanymi łzami lub bez nich; przy każdej długości fali (215–255 nm) mierzono komórki z dimerami DNA i ich rozmieszczenie w nabłonku. Symulowane łzy zmniejszały frakcję uszkodzonych komórek w stopniu zależnym od długości fali i warstwy tkanki. Kolejne eksperymenty przeprowadzono z modelami ekspozowanymi bez symulowanych łez; wydajność komórek uszkodzonych przez DNA i ich rozmieszczenie w nabłonku rogówki oceniano przy każdej długości fali, wraz z innymi markerami integralności komórek i tkanek. W przeciwieństwie do stosunkowo dłuższych fal, zakres długości fal powszechnie określany jako dalekie UV-C (215–235 nm) indukował dimery tylko w najwyższych warstwach nabłonka i nie powodował trwałego uszkodzenia ani zatrzymania proliferacji komórek kielkujących. Wyniki te dostarczają dowodów na zalecane limity ekspozycji dla długości fal dalekiego UV-C, które zostały zaproponowane jako praktyczna technologia w celu zmniejszenia ryzyka przenoszenia chorób przenoszonych drogą powietrzną w zajmowanych miejscach.

14. Eksploracyjne badanie kliniczne dotyczące bezpieczeństwa i działania bakteriobójczego ultrafioletu-C 222 nm u zdrowych ludzi

„Exploratory clinical trial on the safety and bactericidal effect of 222-nm ultraviolet C irradiation in healthy humans”, Tomoaki Fukui, et.al., PLoS ONE 15(8): e0235948, 2020

Zakażenie miejsca operowanego jest jednym z najpoważniejszych powikłań zabiegów chirurgicznych. Jednak optymalna procedura zapobiegania takim zakażeniom pozostaje niezbadana. Promieniowanie ultrafioletowe C (UVC) o krótkiej długości fali ma silne działanie bakteriobójcze; jest jednak cytotoksyczne. Niemniej jednak, biorąc pod uwagę, że UVC o długości fali 222 nm dociera tylko do warstwy rogowej, nie wpływa na komórki skóry. Celem tego badania było zbadanie bezpieczeństwa napromieniowania UVC o długości fali 222 nm i sprawdzenie jego efektu sterylizacji skóry u zdrowych ochotników. Badanie to przeprowadzono na 20 zdrowych ochotnikach. Plecy badanego zostały napromieniowane promieniowaniem UVC 222 nm dawką 50–500 mJ/cm², a wywołany rumień (zaczerwienienie skóry) został oceniony. Następnie plecy zostały napromieniowane maksymalną dawką UVC niepowodującą rumienia, a wymazy ze skóry przed i po napromieniowaniu zostały posiane. Zmierzono liczbę kolonii utworzonych po 24 godzinach. Ponadto, zmierzono dimer cyklobuteno-pyrimidynowy (CPD) jako wskaźnik uszkodzenia DNA, wykorzystując tkanki skórne obszarów nienapromieniowanych i napromieniowanych. U żadnego z badanych nie wystąpił rumień przy żadnej dawce. Plecy badanego zostały napromieniowane dawką 500 mJ/cm², a liczba kolonii bakteryjnych w hodowli wymazów ze skóry została znacząco zmniejszona przez napromieniowanie UVC o długości fali 222 nm. Ilość CPD wytworzona w obszarze napromieniowanym była nieznacznie, ale wyraźnie wyższa niż w obszarze nienapromieniowanym.

15. Brak dowodów na wywołanie raka skóry lub innych nieprawidłowości skóry po długotrwałym (66 tygodniowym) przewlekłym narażeniu na promieniowanie dalekiego UVC o długości fali 222 nm

„No Evidence of Induced Skin Cancer or Other Skin Abnormalities after Long-Term (66 week) Chronic Exposure to 222-nm Far-UVC Radiation”, David Welch et al, Photochemistry and Photobiology, 2023

Promieniowanie dalekiego UVC, zwykle definiowane jako 200–235 nm, ma podobną lub większą skuteczność przeciwdrobnoustrojową w porównaniu z konwencjonalnym promieniowaniem bakteriobójczym o długości fali 254 nm. Ponadto biofizyczne rozważania dotyczące interakcji dalekiego UVC z tkanką, a także liczne krótkoterminowe badania bezpieczeństwa na modelach zwierzęcych i u ludzi sugerują, że ekspozycja na dalekie UVC może być bezpieczna dla skóry i tkanki oka. Niemniej jednak nie badano potencjalnego ryzyka raka skóry po przewlekłej, długoterminowej ekspozycji na dalekie UVC. W niniejszym badaniu oceniliśmy rakotwórcze zmiany skórne wywołane przez dalekie UVC i inne patologiczne nieprawidłowości skórne u 96 bezwłosych myszy SKH-1 obu płci, które były narażone na średnie dzienne dawki promieniowania dalekiego UVC o długości fali 222 nm na skórę grzbietową wynoszące 400, 130 lub 55 mJ/cm² przez 66 tygodni, 5 dni w tygodniu, 8 godzin dziennie, a także podobnie leczone nienarażone kontrole. Nie zaobserwowano żadnych dowodów na zwiększone ryzyko raka skóry, nieprawidłowych narośli skórnych ani przypadkowych patologii skóry u myszy narażonych na dalekie promieniowanie UVC. Ponadto nie zaobserwowano żadnych istotnych zmian w zachorowalności ani śmiertelności. Wyniki tego badania potwierdzają długoterminowe bezpieczeństwo długotrwałej przewlekłej ekspozycji na promieniowanie dalekiego UVC, a zatem jego potencjalną przydatność jako praktycznego podejścia przeciwdrobnoustrojowego w celu zmniejszenia unoszących się w powietrzu ładunków wirusowych i bakteryjnych w zajmowanych pomieszczeniach.

Filtracja szkodliwych zakresów światła UVC

1. Poprawiona czystość widmowa promieniowania 222 nm eliminuje wykrywalne powstawanie dimerów cyklobutylopyrimidyny w skórze, nawet przy wysokich i powtarzających się dawkach dezynfekujących

“Improved Spectral Purity of 222-nm Irradiation Eliminates Detectable Cyclobutylpyrimidine Dimers Formation in Skin Reconstructs even at High and Repetitive Disinfecting Doses”, Irina Ivanova et al., Photochem Photobiol, 2022 Sep; 98(5):1149-1156

UVC222 nm ma działanie bakteriobójcze z potencjalnymi zastosowaniami klinicznymi. Jednak promieniowanie UVC jest w stanie wywołać uszkodzenie DNA, podobnie jak dimery cyklobutylopyrimidyny (CPD). Chociaż nowe urządzenia mają szczyty emisji w obszarze krótkiej długości fali UVC (~222 nm), pozostałe promieniowanie „uboczne” o dłuższych długościach fal może być szkodliwe dla zdrowia ludzkiego. Zbadaliśmy uszkodzenia DNA spowodowane promieniowaniem ekscypleksu dalekiego UVC 222 nm KrCl na rekonstrukcjach ludzkiej skóry po dodatkowym filtrowaniu za pomocą filtrów krzemionkowych. Rekonstrukcje skóry zostały napromieniowane promieniowaniem dalekiego UVC lub UVB (308 nm) o natężeniu 100 mJ/cm², 500 mJ/cm² i 3 × 500 mJ/cm² bez filtrowania i filtrowania (230–270 nm tłumione). Naświetlanie UVB i niefiltrowanym UVC indukowało znaczną ilość CPD w porównaniu z tłem. Filtrowane dalekie UVC obniżyło ilość CPD w porównaniu z niefiltrowanymi zabiegami UVC i UVB. Powtarzające się naświetlanie UVC nie powodowało akumulacji CPD w porównaniu z zabiegiem UVB. Po zastosowaniu promieniowania dalekiego UVC wykryto redukcję przekraczającą 99,9% E. coli, S. aureus i C. albicans.

MEDline Sp. z o.o. | ul. Fabryczna 17 | 65-410 Zielona Góra

Identyfikuje to okno terapeutyczne, w którym mikroorganizmy są zabijane, ale tkanka jest nadal żywa i nieuszkodzona, co może dać początek nowym zastosowaniom klinicznym.

2. Dalekie UVC 222 z filtrowanych lamp ekscimerowych kryptonowo-chlorkowych nie powoduje podrażnienia oczu w przypadku stosowania w symulowanym środowisku biurowym

“222Far-UVC from filtered Krypton-Chloride excimer lamps does not cause eye irritation when deployed in a simulated office environment”. Obaid Kousha et al., Photochemistry and Photobiology. 2023

Dalekie UVC emitowane przez filtrowane lampy kryptonowo-chlorowe stanowi obiecujące rozwiązanie w zakresie redukcji transmisji chorób drogą powietrzną. Chociaż przeprowadzono wiele badań dotyczących bezpieczeństwa skóry w kontekście stosowania tych lamp, mniej uwagi poświęcono ich wpływowi na bezpieczeństwo oczu. Istnieje ograniczona ilość danych dotyczących wpływu tej bakteriobójczej technologii na ludzkie oczy oraz potencjalnego dyskomfortu. W niniejszym pilotażowym badaniu oceniono natychmiastowy i opóźniony dyskomfort oczu w symulowanym środowisku biurowym, w którym zastosowano lampy kryptonowo-chlorowe zamontowane na suficie i skierowane w dół, w stronę użytkowanego pomieszczenia. Ocena dyskomfortu została przeprowadzona bezpośrednio po ekspozycji oraz kilka dni później, przy użyciu zwalidowanych kwestionariuszy Standard Patient Evaluation Eye Dryness (SPEED) oraz Ocular Surface Disease Index (OSDI). Wyniki badania nie wykazały istotnego dyskomfortu oczu ani negatywnych skutków ubocznych wynikających z zastosowania dalekiego UVC w tym symulowanym środowisku biurowym, nawet przy ciągłej pracy lamp i ekspozycji uczestników na dawki promieniowania dochodzące do 50 mJ/cm². Dodatkowo zaobserwowano istotną statystycznie redukcję bakterii i grzybów o 52%. Zastosowanie dalekiego UVC w tym środowisku biurowym nie spowodowało klinicznie istotnego dyskomfortu oczu i skutecznie ograniczyło obecność patogenów w pomieszczeniu. Uzyskane wyniki stanowią istotny krok w dalszych badaniach nad interakcją dalekiego UVC z ludzkim okiem.

Sale operacyjne i zabiegowe

1. Wpływ laminarnego przepływu powietrza na zakażenia miejsca operacji: przegląd systematyczny i metaanaliza

„Effect of laminar airflow ventilation on surgical site infections: a systematic review and meta-analysis”, Bischoff, 2017

W tym badaniu Bischoff i inni odnieśli się do skuteczności laminarnych przepływów powietrza w zmniejszaniu ryzyka zakażeń w miejscu operacji, oceniając badania opublikowane w latach 1990-2014. Doszli do wniosku, że dostępne dowody nie wykazują żadnych korzyści z laminarnego przepływu powietrza, a zatem sugerują, że laminarne przepływy powietrza nie powinny być instalowane w nowych salach operacyjnych.

2. Oświetlenie ultrafioletowe podczas operacji ortopedycznych i wskaźnik infekcji

„Ultraviolet lighting during orthopaedic surgery and the rate of infection”, Ritter, 2007

W tym badaniu Ritter i wsp. porównali skuteczność dezynfekcji laminarnym przepływem powietrza (LAF) i konwencjonalnym światłem UV w salach operacyjnych w okresie dziewiętnastu lat podczas operacji wymiany stawu biodrowego i kolanowego. Naukowcy odkryli, że wskaźnik infekcji przy użyciu LAF wyniósł 1,77%, ale spadł do zaledwie 0,57% przy użyciu konwencjonalnego światła UV. Należy zauważyć, że stosowanie konwencjonalnego światła UV wymaga kompletnych fartuchów i ochrony oczu dla personelu i pacjentów. Podkreśla to potencjał stosowania UV222 do odkażania powietrza w salach operacyjnych i zmniejszania ryzyka zakażeń miejsca operacji.

3. Światło UVC 222 nm jako bezpieczne dla skóry rozwiązanie problemu oporności na środki przeciwdrobnoustrojowe w ostrych warunkach szpitalnych, ze szczególnym uwzględnieniem gronkowca złocistego opornego na metycylinę i zakażeń miejsca operowanego

“222-nm UVC light as a skin-safe solution to antimicrobial resistance in acute hospital settings with a particular focus on methicillin-resistant Staphylococcus aureus and surgical site infections: a review”, Alexis Panzures, Journal of Applied Microbiology, Volume 134, Issue 3, 2023

Rosnące obciążenie opornością na środki przeciwdrobnoustrojowe wymaga nowego podejścia do dezynfekcji patogenów opornych na wiele leków. Konwencjonalne światło ultrafioletowe-C (UVC) o długości fali 254 nm wykazuje wysoką skuteczność bakteriobójczą wobec bakterii. Jednak indukuje dimeryzację pirymidyny w odsłoniętej skórze ludzkiej o potencjale rakotwórczym. Ostatnie osiągnięcia sugerują, że światło UVC o długości fali 222 nm może być stosowane do dezynfekcji bakterii i powoduje mniejsze szkody dla ludzkiego DNA. Ta nowa technologia może być stosowana do dezynfekcji zakażeń związanych z opieką zdrowotną, a dokładniej zakażeń miejsca operowanego (SSI). Obejmuje to, ale nie ogranicza się do metycylinyopornego Staphylococcus aureus (MRSA), P. aeruginosa, C. difficile, E. coli i innych bakterii tlenowych. Ten dokładny przegląd ograniczonej literatury ocenia skuteczność bakteriobójczą i bezpieczeństwo skóry światła UVC o długości fali 222 nm ze szczególnym uwzględnieniem jego zastosowań klinicznych w przypadku MRSA i SSI. Badanie obejmuje przegląd różnych modeli eksperymentalnych, w tym hodowli komórek in vivo i in vitro, żywej skóry ludzkiej, modeli skóry ludzkiej, skóry myszy i skóry królika. Oceniany jest potencjał długoterminowej eradykacji bakterii i skuteczność przeciwko określonym patogenom. Niniejszy artykuł koncentruje się na metodach i modelach stosowanych w badaniach przeszłych i obecnych w celu określenia skuteczności i bezpieczeństwa 222-nm UVC w ostrym środowisku szpitalnym, ze szczególnym uwzględnieniem MRSA i jego zastosowania w SSI.

4. Nowe promieniowanie ultrafioletowe dalekiego ultrafioletu C o długości fali 222 nm zmniejsza ryzyko skażenia bakteryjnego u endoskopistów podczas ezofagogastroduodenoskopii

„The new 222-nm far ultraviolet-C lowers bacterial contamination to endoscopists during esophagogastrroduodenoscopy”, Yukari Fukutoku et al., DEN Open, Volume 4, Issue 1, April 2024

Celem tego badania było wyjaśnienie skuteczności dezynfekcyjnej dalekiego ultrafioletu C (UV-C) 222-nm podczas esophagogastrroduodenoskopii z wykorzystaniem kultur bakteryjnych. Endoskopiści wykonywali esophagogastrroduodenoskopię w fartuchu z płytą z podłożem tryptycznego agaru sojowego na nadbrzuszu i zostali podzieleni na dwie grupy: napromieniowanie dalekim UV-C o długości 222 nm (grupa UV) i napromieniowanie bez UV (grupa bez UV). Jako grupa kontrolna płytki z podłożem agaru tryptycznego sojowego umieszczono około 110 cm nad podłogą. Częstość występowania skażenia bakteryjnego określono na podstawie dodatknej hodowli bakteryjnej. Wyhodowane bakterie zidentyfikowano za pomocą sekwencjonowania 16S rRNA. Ponadto rzeczywistą dawkę ekspozycji na promieniowanie UV mierzono za pomocą karty wskaźnikowej UV, która zmieniała kolory po ekspozycji na 222 nm dalekiego UV-C.

Pozytywny wynik hodowli bakteryjnej w grupie UV (5,03%) był istotnie niższy niż w grupie bez UV (25,76%), $p < 0,0001$. Większość bakterii zidentyfikowanych w grupach UV i bez UV stanowiła normalne składniki flory jamy ustnej, w tym *Streptococcus salivarius* i *Staphylococci*. Z kolei w grupie kontrolnej znaleziono drobnoustroje chorobotwórcze. Rzeczywiste dawki ekspozycji na dalekie promieniowanie UV-C o długości fali 222 nm na twarzy, szyi i nadbrzuszu endoskopistów wynosiły odpowiednio $2,09 \pm 0,29$, $5,89 \pm 0,49$ i $7,36 \pm 0,58$ mJ/cm². Napromieniowanie dalekim promieniowaniem UV-C o długości fali 222 nm zmniejszyło zanieczyszczenie bakteryjne u endoskopistów. Może być stosowane z konwencjonalnymi osłonami fizycznymi w celu zapewnienia skuteczniejszej kontroli zakażeń.

5. Badania środowiskowe lampy UV222™ na sali operacyjnej

Raport badania mikrobiologicznego wykonanego na sali operacyjnej Szpitala Miejskiego św. Jana Pawła II w Elblągu (2023)

Pojedyncza lampa UV222™ została umieszczona w rogu sali operacyjnej, aby oświetlać całą kubaturę pomieszczenia oraz większość powierzchni i sprzętów. Lampę zaprogramowaną na pracę 24 godziny na dobę i pozostawiono na 2 tygodnie działania, po których pobrano próbkę metodą sedymentacji powietrza. Druga sala operacyjna o niemal takiej samej kubaturze i wyposażeniu nie posiadała lampy UV 222nm i była testowana jako próba kontrolna. W czasie testów obie sale były wykorzystywane przez szpital do zabiegów i operacji, między którymi prowadzono standardowe procedury mycia i dezynfekcji za pomocą standardowych środków biobójczych i zamontowanej lampy UVC 254nm działającej cyklicznie poza obecnością ludzi. Po dwóch tygodniach stosowania lampy UV222™ pomiar sedymentacji powietrza dał ujemny wynik badania mikrobiologicznego. Natomiast w próbie kontrolnej w pomieszczeniu bez lampy UV222™ wyhodowano pojedyncze kolonie grzybów.

Leczenie ran i skóry

1. Potencjał światła ultrafioletowego o długości fali 222 nm w zastosowaniach medycznych: przegląd

“The potential of 222-nm wavelength ultraviolet light for medical applications: a review”, Yeon Soo Kim et al., Med Lasers 2024; 13(1)

Dekontaminacja bakteryjna: Zakażenia ran są częstym powikłaniem w procesie gojenia. Światło UVC 222 nm wykazało skuteczne właściwości bakterioobójcze przeciwko szerokiej gamie patogenów, w tym bakteriom opornym na antybiotyki. Poprzez selektywne ukierunkowanie i niszczenie bakterii na powierzchni rany bez uszkodzania otaczającej zdrowej tkanki, światło UVC 222 nm może pomóc zapobiec lub zmniejszyć ryzyko infekcji, ułatwiając szybsze gojenie się ran.

Zmniejszenie stanu zapalnego: Stan zapalny jest naturalną reakcją na uszkodzenie tkanki, ale nadmierny lub długotrwały stan zapalny może upośledzać proces gojenia. Badania sugerują, że ekspozycja na światło UVC 222 nm może pomóc w modulacji reakcji zapalnych w zranionej tkance, co prowadzi do zmniejszenia stanu zapalnego. Promując bardziej zrównoważone środowisko zapalne, światło UVC 222 nm może ułatwić skuteczniejsze gojenie się ran i regenerację tkanek.

Stymulacja mechanizmów naprawy komórkowej: wykazano, że promieniowanie UV, w tym światło UVC 222 nm, stymuluje różne mechanizmy naprawy komórkowej zaangażowane w gojenie się ran. Obejmuje to regulację w górę syntezy kolagenu, proliferację fibroblastów (komórek zaangażowanych w naprawę tkanek) i zwiększoną angiogenezę (tworzenie nowych naczyń krwionośnych). Promując te procesy komórkowe, światło UVC o długości fali 222 nm może przyspieszyć tworzenie się tkanki ziarninowej i nabłonka, kluczowe etapy kaskady gojenia się ran.

Potencjał w leczeniu przewlekłych ran: Przewlekłe rany, takie jak owrzodzenia cukrzycowe i odleżyny, stanowią poważne wyzwanie w leczeniu klinicznym ze względu na upośledzone mechanizmy gojenia i podatność na zakażenia. Wstępne badania wskazują, że terapia światłem UVC 222 nm może oferować nowe podejście do leczenia przewlekłych ran. Poprzez ukierunkowanie zarówno na patogeny bakteryjne, jak i na leżące u ich podłoża procesy zapalne, światło UVC 222 nm ma potencjał poprawy wyników gojenia się ran u pacjentów z przewlekłymi lub niegojącymi się ranami.

Minimalne ryzyko działań niepożądanych: Jedną z kluczowych zalet światła UVC o długości fali 222 nm jest minimalne ryzyko działań niepożądanych na tkankę ludzką. W przeciwieństwie do dłuższych fal światła UV, które mogą wnikać głębiej w skórę i powodować uszkodzenia komórek i DNA, światło fali 222 nm ma ograniczoną głębokość penetracji i jest selektywnie absorbowane przez DNA bakteryjne. Ta selektywność zapewnia, że ekspozycja na światło 222 nm jest dobrze tolerowana i bezpieczna do stosowania w zastosowaniach związanych z gojeniem się ran. Zastosowanie światła 222 nm rokuje nadzieję na nowe podejście terapeutyczne w gojeniu się ran. Wykorzystując swoje właściwości bakterioobójcze, działanie przeciwzapalne i zdolność do stymulowania mechanizmów naprawy komórkowej, światło UVC 222 nm ma potencjał poprawy leczenia ostrych i przewlekłych ran, co ostatecznie prowadzi do szybszego gojenia i lepszych wyników klinicznych dla pacjentów. Dalsze badania i próby kliniczne są uzasadnione, aby w pełni zbadać korzyści terapeutyczne i profil bezpieczeństwa światła UVC o długości fali 222 nm w zastosowaniach gojenia ran. (...)

Leczenie łuszczycy: Łuszczyca to przewlekła choroba skóry o podłożu autoimmunologicznym charakteryzująca się czerwonymi, swędzącymi i łuszczącymi się plamami na skórze. Tradycyjne opcje leczenia obejmują miejscowe kortykosteroidy, fototerapię z użyciem UVB lub psoralenu plus ultrafiolet A (PUVA) oraz leki ogólnoustrojowe. Jednak te metody leczenia mogą wiązać się z działaniami niepożądanymi, takimi jak ścieńczenie skóry, nadwrażliwość na światło i zwiększone ryzyko raka skóry. Wstępne badania sugerują, że światło UVC 222 nm może stanowić bezpieczniejszą alternatywę dla leczenia łuszczycy. Poprzez selektywne ukierunkowanie na nadaktywne komórki odpornościowe w skórze bez głębokiego wnikania w tkanki podskórne, światło UVC o długości fali 222 nm może zmniejszyć stan zapalny i przyspieszyć ustępowanie zmian łuszczykowych.

Leczenie egzemy (atopowego zapalenia skóry): Egzema, znana również jako atopowe zapalenie skóry, to powszechna choroba zapalna skóry charakteryzująca się suchością, swędzeniem i stanem zapalnym skóry. Konwencjonalne metody leczenia egzemy obejmują miejscowe kortykosteroidy, środki nawilżające i leki immunosupresyjne. Jednak te metody leczenia są często związane z działaniami niepożądanymi i mogą zapewnić jedynie tymczasową ulgę. Terapia światłem UVC 222 nm okazała się obiecująca jako potencjalna metoda leczenia egzemy poprzez ukierunkowanie mediatorów zapalnych w skórze i promowanie przywracania funkcji bariery skórnej. Poprzez modulację odpowiedzi immunologicznych i zmniejszenie stanu zapalnego, światło UVC fali 222 nm może oferować skuteczną i dobrze tolerowaną opcję leczenia egzemy.

Leczenie trądziku: Trądzik jest powszechną chorobą skóry charakteryzującą się tworzeniem zaskórników (wągrów i wągrów), grudek, krost, guzków i torbieli. Miejscowe i doustne leki, takie jak retinoidy, antybiotyki i terapie hormonalne, są powszechnie stosowane w leczeniu trądziku. Jednak te metody leczenia mogą być związane z działaniami niepożądanymi, takimi jak podrażnienie skóry, suchość i oporność na antybiotyki. Wstępne badania sugerują, że terapia światłem

UVC 222 nm może mieć działanie przeciwdrobnoustrojowe i przeciwzapalne, które może pomóc w zmniejszeniu zmian trądzikowych i poprawie ogólnego wyglądu skóry. Poprzez ukierunkowanie na bakterie wywołujące trądzik (*Propionibacterium acnes*) i zmniejszenie stanu zapalnego skóry, światło UVC 222 nm może oferować nowe podejście do leczenia trądziku z mniejszą liczbą skutków ubocznych.

Fototerapia zaburzeń skóry: Fototerapia, czyli terapia światłem, jest dobrze ugruntowaną metodą leczenia różnych zaburzeń skóry, w tym łuszczycy, egzemy, bielactwa i skórno-choroby chłoniaka T-komórkowego. Tradycyjne techniki fototerapii obejmują stosowanie źródeł światła UVB lub PUVA, które mogą być związane z działaniami niepożądanymi, takimi jak rumień, fototoksyczność i zwiększone ryzyko raka skóry. Terapia światłem UVC 222 nm oferuje potencjalną alternatywę dla fototerapii ze zmniejszonym ryzykiem działań niepożądanych. Dostarczając ukierunkowane dawki światła UVC do zmienionych chorobowo obszarów skóry, terapia światłem UVC 222 nm może być skutecznym sposobem leczenia szerokiego zakresu schorzeń dermatologicznych, jednocześnie minimalizując ryzyko wystąpienia ogólnoustrojowych skutków ubocznych.

2. Możliwości dezynfekcji za pomocą ultrafioletowego urządzenia oświetleniowego o długości fali 222 nm: badania pilotażowe

„Disinfection capabilities of a 222 nm wavelength ultraviolet lighting device: a pilot study”, Goh et al., 2021

W tym badaniu Goh i wsp. ocenili skuteczność ręcznego urządzenia UV222 w leczeniu owrzodzenia. Wyniki wykazały, że po czterech sesjach w ciągu dwóch tygodni mediana redukcji jednostek tworzących kolonie (CFU) wyniosła 78,9%. Badanie wykazało również, że UV222 było skuteczne w zmniejszaniu liczby CFU wielu gatunków mikroorganizmów.

3. Światło Far-UVC zapobiega infekcji MRSA powierzchownych ran in vivo

„Far-UVC light prevents MRSA infection of superficial wounds in vivo”, Ponnaiya et al., 2018

W tym artykule Ponnaiya i wsp. zbadali, czy UV222 może zapobiegać infekcjom MRSA miejsc operacyjnych na modelu mysim. Stwierdzili, że UV222 skutecznie zabija MRSA i zapobiega infekcjom powierzchownych nacięć skóry, nie powodując żadnych uszkodzeń.

4. Bezpieczeństwo iradiacji 222 nm UVC miejsca operacji w modelu króliczym

„Safety of 222 nm UVC irradiation to the surgical site in a rabbit model”, Fukui et al., 2022

W tym badaniu Fukui i inni zbadali bezpieczeństwo dezynfekcji ran za pomocą UV222 poprzez ekspozycję pięciu rodzajów tkanek na promieniowanie UV222 w modelu króliczym. Wyniki sugerują, że UV222 może być stosowane do bezpiecznej dezynfekcji miejsc chirurgicznych obejmujących różne tkanki.

5. Dezynfekcja i efekty lecznicze światła UVC 222 nm zakażenia metycylinoopornym *Staphylococcus aureus* w ranach myszy

“Disinfection and healing effects of 222-nm UVC light on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infection in mouse wounds”, Narita et al., 2018

W tym badaniu Narita i wsp. zbadali skuteczność UV222 w zmniejszaniu liczby bakterii w ranach zakażonych *S. aureus*. Wyniki pokazują, że UV222 ma działanie bakteriobójcze i może zmniejszyć liczbę bakterii bez żadnego negatywnego wpływu na ranę. Wyniki te sugerują, że UV222 może być wykorzystywany do obniżenia ryzyka infekcji miejsca operacji.

Ciągła Aktywna Dezynfekcja (CAD)

1. Dezynfekcja aktywna w sposób ciągły: minimalizowanie roli ponownego skażenia powierzchni i sprzętu w przenoszeniu patogenów w służbie zdrowia

“Continuously Active Disinfection: Minimizing the Role of Surface and Equipment Recontamination in the Transmission of Healthcare Pathogens”, Joan N. Hebdon et al., 2019

Ciągłe aktywne środki dezynfekcyjne (CADs) oraz inne technologie ciągłego odkażania pomieszczeń mogą zmniejszyć lub wyeliminować problem ponownego skażenia i zminimalizować rolę zanieczyszczonych powierzchni środowiskowych oraz sprzętu w przenoszeniu patogenów medycznych i zapobieganiu zakażeniom związanym z opieką zdrowotną (HAI). Ponadto korzystanie z CAD poprawi efektywność personelu służb środowiskowych i HCP odpowiedzialnych za czyszczenie oraz dezynfekcję sprzętu wielokrotnego użytku do opieki nad pacjentem, przy czym aplikacja jest wymagana tylko raz na 24 godziny.

2. Skuteczność technologii światła dalekiego ultrafioletu-C w ciągłej dekontaminacji powietrza i powierzchni

Efficacy of a far-ultraviolet-C light technology for continuous decontamination of air and surfaces. Samir Memić, Andrew O. Osborne, Jennifer L. Cadnum and Curtis J. Donskey, *Infection Control & Hospital Epidemiology* (2024), 45, 132–134.

Technologie zapewniające bezpieczną i ciągłą dekontaminację powierzchni i powietrza w obecności ludzi mogą być ważnym postępowaniem w zapobieganiu zakażeniom związanym z opieką zdrowotną. Wykazaliśmy, że montowana na ścianie technologia światła dalekiego UV-C, która rzekomo jest bezpieczna w zajmowanych przestrzeniach, była skuteczna w zmniejszaniu aerozolowanego bakteriofaga MS2 o $>3 \log_{10}$ PFU w ciągu 30 minut. Technologia ta zmniejszała również bakterie roślinne i bakteriofaga MS2 na nośnikach o $>3 \log_{10}$ w ciągu 45 minut. Technologia ta była mniej skuteczna przeciwko *C. auris* i *C. difficile*, ale większą skuteczność można osiągnąć przy dłuższym czasie ekspozycji w warunkach rzeczywistych.

3. Ocena montowanego na ścianie urządzenia wykorzystującego światło ultrafioletowe dalekiego ultrafioletu-C do ciągłej dezynfekcji powietrza i powierzchni w gabinecie stomatologicznym podczas rutynowej opieki nad pacjentem

„Evaluation of a wall-mounted far ultraviolet-C light device used for continuous air and surface decontamination in a dental office during routine patient care”, Osborne, A.O. et al. (2024), *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 45(10).

Zamontowane na ścianie urządzenie emitujące dalekie promieniowanie ultrafioletowe C stosowane do ciągłego odkażania powietrza i powierzchni w gabinecie stomatologicznym zmniejszyło liczbę rozpylonych bakteriofagów MS2 i opornych na metycylinę *Staphylococcus* na stalowych dyskach o $>3 \log_{10}$ w ciągu 2 godzin w niezacienionych obszarach w pomieszczeniu zabiegowym. Dostarczanie dalekiego ultrafioletu C było znacznie zmniejszone w zacienionych obszarach.

4. Synergiczna dezynfekcja rozpylonych bakterii i bakteriofagów za pomocą dalekiego UVC (222 nm) i ujemnych jonów powietrza

“Synergistic disinfection of aerosolized bacteria and bacteriophage by far-UVC (222-nm) and negative air ions”, Lu, Y. H., Wu, H., Zhang, H. H., Li, W. S., & Lai, A. C. K. (2023). *Journal of hazardous materials*, 441

Jonizatory powietrza i lampy 222-nm kryptonowo-chlorkowe (KrCl) okazały się skutecznym urządzeniem dezynfekującym bakterie i wirusy o ograniczonym ryzyku dla zdrowia. Określiśmy wydajność inaktywacji, obsługując je indywidualnie i w modułach łączonych. Bakterie Gram-dodatnie i Gram-ujemne, wirus dsDNA bez otoczki i wirus dsRNA z otoczką zostały zbadane w zaprojektowanym systemie dezynfekcji powietrza. Nasze wyniki wykazały, że bioaerozole były skutecznie inaktywowane przez jonizatory ujemne i dalekie UVC (222 nm), stosowane indywidualnie lub w połączeniu. Spośród których połączone moduły jonizatorów ujemnych i lamp KrCl miały najlepszą wydajność dezynfekcji bakterii. Rozpylone wirusy P22 i Phi 6 były bardziej podatne na 222 nm emitowane przez lampę KrCl niż jony ujemne powietrza. Znacznie większą inaktywację bioaerozoli bakteryjnych zidentyfikowano po skojarzonym traktowaniu ujemnymi jonami powietrza i dalekim UVC przez 2 minuty (*Escherichia coli*, redukcja o 6,25 logarytmu naturalnego (ln); *Staphylococcus epidermidis*, redukcja o 3,66 ln), w porównaniu ze średnią wartością sumy wyników inaktywacji po indywidualnym traktowaniu jonizatorami ujemnymi i lampami KrCl (*Escherichia coli*, 4,34 ln; *Staphylococcus epidermidis*, 1,75 ln), co wskazuje na synergistyczny efekt inaktywacji. Wyniki dostarczają ważnych danych wyjściowych wspierających projektowanie i rozwój bezpiecznych i wysoce wydajnych systemów dezynfekcji.

Kompatybilność materiałowa

1. Badanie porównawcze wpływu światła UVB 313 nm, UVC 254 nm i dalekiego UVC 222 nm na starzenie się poliamidu 66

„Comparative study between UVB 313 nm, UVC 254 nm, and far UVC 222 nm light on the aging of polyamide 66”, Abel Hurtado Macias et al., *Heliyon*, Volume 10, Issue 20e39415, October 30, 2024

Poliamid-66 przeszedł znaczny wzrost na całym świecie pod koniec lat 30. XX wieku. Można go znaleźć w wielu miejscach publicznych. Po 2019 roku, z powodu choroby koronawirusowej (COVID-19), dezynfekcja wnętrza samolotów i przestrzeni publicznych za pomocą światła UV stała się ważna. Przede wszystkim wpływ dalekiego UVC 222 nm stał się gorącym punktem badań, które wciąż są nienasycone. W niniejszej pracy przeprowadzono badanie porównawcze uszkodzeń poliamidu-66 po narażeniu na kontrolowane promieniowanie ultrafioletowe (UVC 254 nm, dalekie UVC 222 nm, UVB 310 nm) i kondensację wilgoci. Oceniono właściwości chemiczne (FTIR), termiczne (DMA) i nanomechaniczne. Analiza FTIR wykazała powstawanie wiązań O-H i/lub N-H, ponieważ pojawiły się absorpcje przy 3400 cm⁻¹ wraz z zanikiem innych sygnałów związanych z wiązaniem C-N. Zmiany te są bardziej widoczne w próbkach wystawionych na działanie UVC 254 nm, a następnie w próbkach napromieniowanych promieniowaniem UVC 222 nm. Próbki starzone promieniowaniem UVA 313 nm nie wykazały zmiany w widmach FTIR. Analiza widm FTIR i nanoindentacja wykazały, że UVB 313 nm wywołało mniejszy efekt starzenia się tego materiału. Natomiast światło UVC 254 nm spowodowało najwyższy stopień chemiczno-mechanicznej zmiany powierzchni przypisywanej reakcjom rozszczepiania/siecienia inicjowanym przez wolne rodniki wytwarzane przez światło UV i wilgoć. Z kolei dalekie światło UVC 222 nm wykazywało umiarkowany wpływ na poliamid-66. Temperatura zeszklenia (T_g) zmniejszała się wraz ze wzrostem czasu ekspozycji, co przypisuje się absorpcji wody i uszkodzeniu powierzchni, osiągając najwyższą wartość przy -16,05 °C dla próbek napromieniowanych 245 UVC nm. Jednak potencjał światła dalekiego UVC 222 nm do dezynfekcji COVID-19, bez znaczących efektów degradacji materiałów polimerowych, jest obiecującym odkryciem, które należy dalej badać i które może zapewnić obiecujące rozwiązanie w walce z pandemią.

2. Ocena wpływu promieniowania Far-UVC 222 nm na właściwości estetyczne i mechaniczne materiałów stosowanych we wnętrzach autobusów publicznych

“Evaluating the Impact of 222 nm Far-UVC Radiation on the Aesthetic and Mechanical Properties of Materials Used in Public Bus Interiors”, Dariusz Drungilas et al., *Applied Sciences* Volume 13 Issue 7, 2023

Zastosowanie promieniowania dalekiego UVC o długości fali 222 nm może być skutecznym sposobem dezynfekcji autobusów publicznych przed wirusami, w tym SARS-CoV-2. Może jednak powodować degradację właściwości mechanicznych i wizualnych materiałów wewnętrznych. Celem tego badania jest zbadanie wpływu promieniowania dalekiego UVC o długości fali 222 nm na kolor i degradację mechaniczną materiałów stosowanych do budowy wnętrz autobusów publicznych. Niniejsza praca badawcza obejmuje narażenie próbek materiałów powszechnie stosowanych we wnętrzach autobusów na różne poziomy promieniowania dalekiego UVC oraz pomiar i ocenę zmian koloru i właściwości mechanicznych. Wyniki badania wykazały, że napromieniowanie dalekim UVC powoduje znaczną degradację koloru ($\Delta E_{00} > 5$) we wszystkich testowanych materiałach polimerowych po narażeniu na promieniowanie 290 J/cm². Ponadto zaobserwowano istotne zmiany właściwości mechanicznych podczas oceny modułu sprężystości, wydłużenia przy wytrzymałości granicznej, wydłużenia przy zerwaniu i wytrzymałości na rozciąganie. Szczególnie duży spadek wydłużenia przy zerwaniu (do 26%) zaobserwowano w materiałach kompozytowych wzmocnionych włóknami. Wyniki tego badania mogą posłużyć jako wskazówka do opracowania protokołów dotyczących stosowania dezynfekcji dalekim UVC w transporcie publicznym, co może pomóc ograniczyć transmisję infekcji, zachowując jednocześnie integralność i właściwości wizualne materiałów wnętrza autobusu.

3. Kompatybilność powierzchni wewnętrznych samolotów z ekspozycją na światło Far-UV 222 nm

„Compatibility of Aircraft Interior Surfaces with 222 nm Far-UV Light Exposure”, John Harris Ph.D., Stephanie Metting, Ankita Sharma, Angela Elting, *BOEING Report* 2021

Aby zapewnić bezpieczeństwo podróży lotniczych, istnieje duże zainteresowanie wykorzystaniem Far-UV 222 nm do dezynfekcji powierzchni wewnętrznych samolotów. Jednak wpływ ekspozycji na Far-UV 222 nm na właściwości mechaniczne materiałów wnętrza samolotu, a także na ich kolor i wygląd, nie został wcześniej oceniony. Wynika to z faktu, że materiały wnętrza samolotu nie są normalnie narażone na długości fal światła krótsze niż 280 nm. Aby zrozumieć wpływ ekspozycji na Far-UV 222 nm, oceniliśmy kompleksowy zestaw materiałów używanych do części wnętrza samolotu. W szczególności badanie to obejmowało próbki materiałów w części w kuchni, kabinie pasażerskiej, toaletach i miejscach odpoczynku załogi. Próbki te były rozległe ekspozowane na światło dalekiego Far-UV 222 nm w celu symulacji i oceny wpływu programu dezynfekcji UV w trakcie eksploatacji samolotu w całym cyklu jego życia. Ocena wykazała głównie powierzchniowe efekty na materiałach po ekspozycji, wpływające jedynie na ich kolor i wygląd. Nawet mocno odbarwione próbki materiałów zachowały pożądane właściwości mechaniczne i spełniły kluczowe wymagania specyfikacji, takie jak wytrzymałość na rozciąganie, moduł sprężystości, wytrzymałość na zerwanie i palność.

- Po ekspozycji na Far-UV 222 nm powłoki wewnętrzne nie wykazywały znaczącego żółknięcia.
- Materiały termoplastyczne wykazywały zróżnicowaną reakcję, od nieznacznego do poważnego żółknięcia.
- Zmiany koloru wydawały się bardziej widoczne w przypadku materiałów termoplastycznych, które były białe lub w kolorze złamanej bieli, w porównaniu z ciemniejszymi kolorami.
- Polifluorek winylu (PVF), polipropylen i nylon wykazywały najlepszą fotostabilność.
- Materiały dywanowe poddane intensywnej ekspozycji na światło Far-UV 222 nm były niemal nie do odróżnienia od próbek kontrolnych.
- Próbki tkanin na zasłony i pokrowce na siedzenia wykazały nieznaczne lub niewielkie zmiany koloru po narażeniu na światło Far-UV 222 nm.
- Nie zaobserwowano wpływu na właściwości wytrzymałościowe na rozerwanie narażonych materiałów tkaninowych.
- Nie zaobserwowano negatywnego wpływu na właściwości mechaniczne, takie jak wytrzymałość na rozciąganie i moduł, w przypadku materiałów termoplastycznych.
- Nie zaobserwowano negatywnego wpływu na właściwości palności podczas testów zgodnie z 60-sekundowym testem pionowego palnika Bunsena przeprowadzonym przez Federalną Administrację Lotnictwa (FAA).

4. Badanie dezynfekcji Far-UVC (222 nm) bioaerozoli osadzonych na powierzchniach o różnych właściwościach materiałowych

"Investigation of Far-UVC (222 nm) disinfection of bioaerosols deposited on surfaces with different material properties", Kangqi Guo, Chun Chen, Journal of Hazardous Materials, Volume 465, 5 March 2024,

Światło dalekiego ultrafioletu C (UVC) wykazało swoją zdolność do inaktywacji drobnoustrojów na powierzchniach. Jednak czynniki wpływające na skuteczność dezynfekcji powierzchni dalekim ultrafioletem UVC pozostają niejasne. Celem tego badania było zbadanie wpływu właściwości materiałów na dezynfekcję dalekim ultrafioletem UVC bioaerozoli (reprezentowanych przez *Escherichia coli* (*E. coli*)) osadzonych na powierzchniach. Zmierzono i przeanalizowano stałe podatności (wartości Z) *E. coli* na 14 powszechnych materiałach. Ponadto pięć możliwych czynników wpływających (szorstkość, pory, ładunek elektrostatyczny, wilgotność i temperatura) związanych z właściwościami powierzchni zostało zbadanych w eksperymentach kontrolnych. Wyniki pokazują, że światło dalekiego ultrafioletu UVC skutecznie dezynfekowało *E. coli* na 14 materiałach, przy czym skuteczność dezynfekcji wahała się od 69,1% do 98,9% przy dawce 100,8 J/m². Chropowatość powierzchni i ładunki elektrostatyczne miały pomijalny wpływ na dezynfekcję *E. coli* na powierzchniach za pomocą dalekiego UVC. Jednak w przypadku materiałów porowatych rozmiary porów większe niż rozmiar *E. coli* skutkowały niższymi wartościami Z. Większa wilgotność powierzchni zmniejszała zarówno wartość Z, jak i naturalną szybkość rozpadu. Tymczasem wyższa temperatura powierzchni, wynosząca 40 °C, skutkowała wyższą wartością Z i naturalną szybkością rozpadu. Wyniki mogą poprawić nasze zrozumienie dezynfekcji drobnoustrojów na powierzchniach za pomocą dalekiego UVC, a baza danych może być wykorzystywana do modeli numerycznych.

UWAGA!

Niniejsze publikacje naukowe i ich abstrakty zostały zebrane i przetłumaczone według naszej najlepszej wiedzy. W przypadku jakichkolwiek pytań, wykrycia błędów w tłumaczeniu lub potrzeby aktualizacji niniejszego spisu czy jego treści prosimy o kontakt mailowy m.rajczuk@medline.pl lub i.reszel@medline.pl. Niniejsze publikacje to tylko wybrana część z licznych badań naukowych na temat Far-UV. Wszelkie osoby zainteresowane zachęcamy do samodzielnego zapoznania się z pełną treścią cytowanych i niewymienionych tu badań tej technologii.

Kopiowanie, wykorzystywanie i udostępnianie w jakiejkolwiek formie niniejszego opracowania lub jego fragmentów w celach marketingowych wymaga pisemnej zgody firmy Medline Sp. z o.o.