



UNIWERSYTET
MEDYCZNY
W ŁODZI

Łódź, dnia 21.12.2020r

Zakład Biologii Molekularnej Nowotworów

Uniwersytet Medyczny w Łodzi

ul. Mazowiecka 6/8, 92-215 Łódź

tel. 42 272 57 03

faks 42 272 56 94

Skuteczność promieniowania z zakresu UV-C w inaktywacji wirusa-2 ostrej niewydolności oddechowej (SARS-CoV-2)

Badanie wykonane na zlecenie:

UV-C ENERGY S.C. JAROSŁAW BRUSSA IWONA BRUSSA SPÓŁKA CYWILNA.

NIP: 7842519048, Wełnica, Osiedle Słoneczne 20 Gniezno 62- 200

Analizę wykonał:

dr Tomasz Wasiak

Zakład Biologii Molekularnej

Katedra Biologii Medycznej

Oddział Nauk Biomedycznych Wydziału Lekarskiego

Uniwersytet Medyczny w Łodzi

CIITT

90-151 Łódź | J. Muszyńskiego 2
e-mail: ciitt@umed.lodz.pl
www.umed.pl | www.ciitt.umed.pl



Centrum Innowacji
i Transferu Technologii
UNIWERSYTETU MEDYCZNEGO W ŁODZI

Wstęp

SARS-CoV-2 (ang. *severe acute respiratory syndrome coronavirus-2*) [1] wywołał globalny kryzys społeczny, ekonomiczny oraz medyczny, który niejako wymusił stworzenie nowych metod ograniczania aktywności tego wirusa w środowisku. W chwili pisania tej pracy (7.12.2020r.) w Polsce zanotowano ponad 1 mln przypadków zakażenia SARS-CoV-2, z czego ponad 20 tys. chorych zmarło [2]. Rzeczywista liczba osób zakażonych SARS-CoV-2 jest najprawdopodobniej znacznie wyższa, ponieważ liczne infekcje, zwłaszcza u osób młodszych, przebiegają bezobjawowo i często nie są wychwytywane rutynowymi metodami diagnostycznymi [3]. SARS-CoV-2 wywołuje chorobę COVID-19, której typowymi objawami są gorączka, suchy kaszel, zmęczenie i spłycenie oddechu [4]. Większość chorujących na COVID-19 (81%) to pacjenci bezobjawowi lub skąpoobjawowi, gdzie obraz kliniczny przypomina lekkie infekcje górnych dróg oddechowych. Pozostali pacjenci przechodzą postać ciężką (14%) lub krytyczną (5%) tej choroby. Zakażenie przenosi się drogą kropelkową w czasie kaszlu lub kichania, a przeciętny czas wylegania choroby wynosi do 2 do 14 dni, średnio 5 dni [5,6]. Kluczowe znaczenie w zapobieganiu rozprzestrzeniania się SARS-CoV-2, zwłaszcza w instytucjach publicznych, ma dezynfekcja przestrzeni użytkowych. Najbardziej optymalną metodą dezynfekcji dużych przestrzeni użytkowych jest sterylizacja promieniowaniem UV-C, która od wielu lat znalazła zastosowanie w placówkach ochrony zdrowia i jednostkach naukowych. Sterylizacja przy użyciu promieniowania ultrafioletowego jest metodą nieobciążającą środowiska naturalnego, która skutecznie niszczy wirusy, bakterie i grzyby bez konieczności wykorzystywania środków chemicznych, promieniowania jonizującego, czy wysokiej temperatury [7]. Promieniowanie UV można podzielić na 4 zakresy. Promieniowanie o zakresie długości fali światła pomiędzy 100 a 200 nm nosi nazwę ultrafioletu próżniowego. Zastosowanie tego zakresu fali w sterylizacji jest ograniczone, gdyż jest silnie pochłaniane przez powietrze. Bliżej znane zakresy promieniowania ultrafioletowego to UV-A, UV-B i UV-C o zakresach widm odpowiednio 315-380 nm, 280-315 nm i 200-280 nm. Wśród trzech wymienionych zakresów to właśnie UV-C ma najsilniejsze właściwości przeciwwirusowe i przeciwbakteryjne [8,9]. Promieniowanie UV-C jest absorbowane przez wirusowe RNA, co prowadzi do powstawania dimerów pirymidynowych np. uracylu i zatrzymanie procesu replikacji wirusa [10].

Wirus-2 ostrej niewydolności oddechowej

Pierwsze wzmianki o ciężkim zapaleniu płuc o nieznannej etiologii pojawiły się w listopadzie 2019 w Chińskiej prowincji Hubei. Zachorowania te powiązane zostały z targiem rybnym w mieście Wuhan [11]. Chińscy naukowcy wykazali, że nowy wirus jest pochodzenia odzwierzęcego i należy do grupy koronawirusów [12,13]. SARS-CoV-2 jest wirusem osłonkowym zaliczanym do rodziny *Coronaviridae*.

Wielkość cząsteczki wirusa waha się od 50 do 200 nm, przybierając kształt kulisty lub geoidalny [4]. SARS-CoV-2 jak i inne koronawirusy charakteryzują 4 białka strukturalne. Białko S będące glikoproteiną powierzchniową, odpowiada za oddziaływanie cząsteczki wirusa z receptorem ACE-2 na powierzchni pneumocytów, tworzy też charakterystyczną koronę na powierzchni kapsydu. Białko E tworzące płaszcz wirusa, pomaga też w morfogenezie wirionów. Białko M – to białko dominujące w macierzy wirusa. Białko N odpowiedzialne jest za tworzenie nukleokapsydu i ochronę materiału genetycznego wirusa przed degradacją. Kapsyd wirusa tworzony jest przez białka S, M i E, natomiast białko N utrzymuje strukturę genomu [14,15]. Genom SARS-CoV-2 stanowi jednoniciowa cząsteczka RNA o dodatniej polaryzacji, który rozpoznawany jest przez komórki gospodarza jako własny mRNA, co z kolei skutkuje bezpośrednią translacją białek wirusa [16]. Genom wirusa składa się z około 29 900 nukleotydów i koduje 4 białka strukturalne oraz 25 białek niestrukturalnych, które odpowiadają za gaszenie odpowiedzi immunologicznej gospodarza, oraz aktywność proteazy, endonukleazy i polimerazy RNA [17].

Żywotność SARS-CoV-2

W sześciu recenzowanych i jednej nierecenzowanej publikacji (na dzień 7.12.2020) zbadano żywotność SARS-CoV-2 w różnych warunkach inkubacji i na różnych materiałach (Tabela 1). Żywotność zbadano na następujących materiałach: szkło [18-20], stal nierdzewna [18,19,21-24], plastik [11,16,21,22], papier [19], karton [22], guma [21,24], drewno i ubrania [19]. Badania zespołu Chin i wsp. [19] wskazują redukcję miana SARS-CoV-2 o około $3,6 \log_{10}$ na bibule w ciągu zaledwie 3 godzin, ale redukcja rzędu $3,8 \log_{10}$ na szkle zajęła aż 4 dni. Dodatkowo dwie publikacje wskazują [18,19], iż niższe temperatury są bardziej korzystne dla żywotności SARS-CoV-2, z niewielkim spadkiem miana wirusa po 2 tygodniach w 4°C . Jednak nawet w temperaturze pokojowej osiągnięcie redukcji miana wirusa (płynna zawiesina wirusa) o $4,5-5,0 \log_{10}$ może zająć nawet 14 dni.

Tabela 1. Wykaz badań przedstawiających żywotność SARS-CoV-2

Badanie	Próbka mikrobiologiczna i warunki eksperymentu	Materiał i czas do inaktywacji
Behzadinasab 2020 [20]	~5,8-6,1 log ₁₀ TCID ₅₀ /mL, 5 μL zawiesiny wirusa, 60- 70% RH	Szkło – redukcja do 2,6 log ₁₀ po 24 godz. (brak danych z kolejnych punktów czasowych). Stal nierdzewna – redukcja do 1,8 log ₁₀ po 24 godz. (brak danych z kolejnych punktów czasowych).
Biryukow 2020 [21]	~2 log ₁₀ TCID ₅₀ /mL, 5 μL zawiesiny wirusa, inaktywacja = redukcja do 1,8 log ₁₀ TCID ₅₀ /mL, LOD = 0,2 log ₁₀ TCID ₅₀ /mL	Stal nierdzewna – inaktywacja po 24 godz. w 35°C 20%, 40% i 60% RH; po 48 godz. w 24°C i 40% i 60% RH (ale nie dla wilgotności 20%!). Podobne wyniki uzyskano dla tworzywa ABS i kauczuku nitylowego.
Chan 2020 [18]	6,5 log ₁₀ TCID ₅₀ /mL, 10 μL zawiesiny wirusa na szkiełku mikroskopowym, inaktywacja = redukcja do 1,5 log ₁₀ TCID ₅₀ /mL	4°C – redukcja tylko o 2 log ₁₀ po 14 dniach zarówno w hodowli płynnej jak i wysuszonej (brak danych z kolejnych punktów czasowych). 20-25°C (65% RH) – 5 dni w formie suchej, 14 dni w formie płynnej. 33°C – 3 dni w obu formach 35°C – 24 godz. w formie suchej i 3 dni w formie płynnej

<p>Chin 2020 [19]</p>	<p>Zmiany temperatury: 6,5 log₁₀ TCID₅₀/m inaktywacja = redukcja do 2 log₁₀ TCID₅₀/mL, LOD = 2 log₁₀ TCID₅₀/mL</p> <p>Zmiany materiały dla warunków pokojowych (22°C, 65% RH): 4,8-6,1 log₁₀ TCID₅₀/mL, inaktywacja = redukcja do 2 log₁₀ TCID₅₀/mL, LOD = 2 log₁₀ TCID₅₀/mL</p>	<p>Zmiany temperatury: 4°C – redukcja tylko o 0,7 log₁₀ po 14 dniach 22 – redukcja o ≥ 4,5 log₁₀ po 14 dniach 37°C – redukcja o ≥ 4,5 log₁₀ po 2 dniach</p> <p>Zmiany materiały dla warunków pokojowych: Papier ksero – redukcja o ≥ 2,8 log₁₀ po 3 godz. Bibuła – redukcja o ≥ 3,5 log₁₀ po 3 godz. Ubrania – redukcja o ≥ 2,8 log₁₀ po 2 dniach. Drewno – redukcja o ≥ 3,7 log₁₀ po 2 dniach. Szkło – redukcja o ≥ 3,8 log₁₀ po 4 dniach. Banknot – redukcja o ≥ 4,0 log₁₀ po 4 dniach. Plastyk – redukcja o ≥ 4,8 log₁₀ po 7 dniach. Stal nierdzewna – redukcja o ≥ 4,8 log₁₀ po 7 dniach. Wewnętrzna powierzchnia maski chirurgicznej – redukcja o ≥ 4,8 log₁₀ po 7 dniach Zewnętrzna powierzchni maski chirurgicznej – redukcja o 3,0 log₁₀ po 7 dniach, przy czym nadal obserwowano resztkową zdolność do wirulencji (brak danych z kolejnych punktów czasowych).</p>
<p>Fisher 2020 [23]</p>	<p>4,5 log₁₀ TCID₅₀/mL, 50 µL zawiesiny wirusa, inaktywacja = redukcja do 1,5 log₁₀ TCID₅₀/mL, 21-23°C, 40% RH, LOD = 0,5 log₁₀ TCID₅₀/mL</p>	<p>Maska N95 – redukcja o ≥ 4 log₁₀ po 24 godz. Stal nierdzewna – redukcja o ≥ 4 log₁₀ po 48 godz.</p>
<p>Kasloff 2020 [24] badanie nierecenzowane w dniu pisania opracowania</p>	<p>Materiał o powierzchni 1-14 cm², 10 µL zawiesiny wirusa, ~5,8 log₁₀ TCID₅₀/mL (inokulum:</p>	<p>Koszulka 100% bawełny – 24 godz. Rękawice nitrylowe odporne na chemikalia – 7 dni. Rękawice nitrylowe – 14 dni.</p>

	glebą+mucyna+BSA+trypton), 20°C, 35-40% RH, LOD = 0,8 log ₁₀ TCID ₅₀ /mL, inaktywacja = redukcja do 5,0 log ₁₀ TCID ₅₀ /mL,	Stal nierdzewna, plastikowa osłona twarzy, półmaska N100 i polietylenowy kombinezon barierowy – 21 dni. Maski N95 – redukcja o ~4,9 log ₁₀ 21 dni (brak danych z kolejnych punktów czasowych).
van Doremalen [22]	~3,2-3,7 log ₁₀ TCID ₅₀ /mL, 21- 23°C, 35-40% RH, Osad powierzchniowy 50 µL	Plastik i stal nierdzewna – redukcja o 3,2 log ₁₀ po 4 dniach. Karton – redukcja o ~2 log ₁₀ po 2 dniach. Miedź – redukcja o ~1,7 log ₁₀ po 8 godz.

BSA – albumina surowicy bydlęcej; LOD – próg detekcji; TCID₅₀ – mediana dawki zakaźnej dla hodowli komórek, odpowiadająca liczności wirusa, przy którym 50% komórek ulega zakażeniu, RH – wilgotność względna.

Co ważne, niektóre badania określiły żywotność SARS-CoV-2 bezpośrednio na odzieży środkach i ochrony osobistej, zwłaszcza na filtrach masek bakteriologicznych [19,21,23,24]. Wyniki zespołu Fishera [23] pokazują redukcję o 4,0 log₁₀ miana SARS-CoV-2 na filtrach FFR masek N95, ale badania Chin et al. [19] udowodniły, że potrzeba 7 dni na redukcję miana wirusa o ~4,8 log₁₀ i ~3,0 log₁₀ odpowiednio na wewnętrznej i zewnętrznej warstwie masek chirurgicznych. Warto zaznaczyć, że badania przeprowadzone przez Kalsoff'a i wsp. [24] pozwoliły na ocenę żywotności wirusa w warunkach: gleby zawierającej mucynę, albuminie surowicy bydlęcej oraz tryptonie jako inokulum, które wg. autorów miało symulować typowe zakaźne płyny ustrojowe pacjentów zakażonych SARS-CoV-2. Badanie to pokazało, że uzyskanie redukcji miana wirusa o 5,0 log₁₀ w temperaturze pokojowej (~20°C) zajęło 14 dni dla rękawic nitrylowych i 21 dni w przypadku plastikowych osłon twarzy, półmasek N100 i polietylenowych kombinezonów barierowych, z zachowaną resztkową wirulencją dla masek N95 nawet po okresie 3 tygodni.

Inaktywacja SARS-CoV-2 przy użyciu promieniowania UV-C

Metody sterylizacji powszechnie stosowane w służbie zdrowia można podzielić na dwie grupy: metody fizyczne (promieniowanie ultrafioletowe, X, γ, sterylizacja termiczna sucha i mokra, para wytwarzana mikrofalami) oraz chemiczne (alkohole, tlenek etylenu, podchloryn sodu, pary nadtlenu wodoru). Część z tych metod może znacząco wpłynąć na wydajność filtracji cząstek w maskach N95 (alkohole [25-28]), podczas gdy inne wymagają stosowania silnych utleniaczy lub specjalistycznego sprzętu i zaplecza logistycznego. Dlatego, w tym przeglądzie skupiono się na metodzie sterylizacji przy użyciu promieniowania UV, które mogą być łatwo i szybko wdrożone na dużą skalę. W przypadku

sterylizacji środków ochrony osobistej szczególną skuteczność wykazuje promieniowanie z zakresu UV-C, co potwierdza 6 recenzowanych publikacji (Tabela 2).

Tabela 2. Wykaz badań przedstawiających inaktywację SARS-CoV-2 przez promieniowanie z zakresu UV-C.

Badanie	Próbka mikrobiologiczna i warunki eksperymentu	Kluczowe wnioski i uwagi
Fisher 2020 [23]	4,5 log ₁₀ TCID ₅₀ /mL, 50 μL zawiesiny wirusa na stali nierdzewnej lub filtrach masek N95, LOD = 0,5 log ₁₀ TCID ₅₀ /mL, UV-C 260-285 nm, PG = 0,55 mW/cm ² w miejscu ekspozycji	Stal nierdzewna – poniżej LOD, redukcja o ≥ 4 log ₁₀ przy 330 mJ/cm ² . Filtry N95 – LOD nieosiągnięty dla 1980 mJ/cm ² (na podstawie wykresu z pracy oszacowano redukcję o ~3 log ₁₀ , przy czym brak wyniku dla dłuższych czasów ekspozycji na UV-C).
Heilingloh 2020 [29]	600 μL 6,75 log ₁₀ TCID ₅₀ /mL na płytce 24-dołkowej, UV-C PG = 1,94 mW/cm ² , UV-A PG = 0,54 mW/cm ²	UV-C – redukcja o > 6,7 log ₁₀ dla 1048 mJ/cm ² . UV-A – redukcja o 1,0 log ₁₀ dla 292 mJ/cm ²
Inagaki 2020 [30]	150 μL 4,3 log ₁₀ PFU/mL na szalce Petriego φ 60 mm, LOD = ~1,3 log ₁₀ PFU/mL. Napromieniowanie DUV-LED 280 ± 5 nm, PG = 3,75 mW/cm ² z odległości 20 mm	Redukcja poniżej LOD = ~3,2 log ₁₀ PFU/mL dla 75 mJ/cm ²
Smith 2020 [26]	100 μL roztworu soli fizjologicznej/albuminy „bezpośrednio niefiltrowane” w filtry trzech typów masek N95, mając na celu „osłonięcie” warstwy środkowej filtra. UVC 254 nm, dla 630 mJ/cm ² na stronę (łączna dawka 1260 mJ/cm ²)	Zastosowana moc promieniowania UV-C nie inaktywowała wirusa. Autorzy skomentowali, że „trudno jest wyobrazić sobie scenariusz, w którym pracownicy służby zdrowia byłiby narażeni na takie inokulum w środkach ochrony osobistej”.

Ozog 2020 [31]	10 μL zawiesiny wirusa $\leq 6,0$ \log_{10} TCID ₅₀ /mL, LOD = 1,8 \log_{10} TCID ₅₀ /mL, UVC 254 nm, 4 lampy, PG = 16 mW/cm^2 z odległości 11,5 cm, łączna dawka 1500 mJ/cm^2	Cztery modele filtrów masek N95 w czterech lokalizacjach (część nosowa, wierzchołek, element podbródkowy, pasek mocujący), po trzy próbki z każdej lokalizacji. Część nosowa – większość próbek miała miano wirusa $< \text{LOD}$, poza 4 próbkami z 2 modeli masek. Paski – wszystkie próbki z dwóch modeli wykazały miano wirusa $< \text{LOD}$,
Ratnesar- Shumate 2020 [32]	5 μL zawiesiny wirusa (sztuczna ślina, FBS) na krążkach ze stali nierdzewnej. Miano wirusa nieokreślone, ale oszacowane na podstawie Wykresu. UVB 280-315 nm, PG = 0,16 mW/cm^2 , maksymalna dawka 192 mJ/cm^2	Sztuczna ślina: redukcja o $\sim 2,5 \log_{10}$ (z ~ 3 do 0,5 \log_{10} TCID ₅₀ /mL). FBS: redukcja o $\sim 1,1 \log_{10}$ (z $\sim 2,6$ do 1,5 \log_{10} TCID ₅₀ /mL). Badanie miało na celu wykazanie inaktywacji SARS- CoV-2 przez światło słoneczne (które nie obejmuje widma w zakresie UV-C).

PG – powierzchniowa gęstość mocy; LOD – próg detekcji; TCID₅₀ – mediana dawki zakaźnej dla hodowli komórek, odpowiadająca licznosci wirusa, przy którym 50% komórek ulega zakażeniu, PFU – jednostka pomocnicza stosowana w wirusologii do pomiaru liczby cząsteczek wirusa zdolnych do wytworzenia tzw. „łysinek” w hodowli komórek na jednostkę objętości FBS – płodowa surowica cielęca.

W literaturze na dzień przygotowania opracowania dostępnych było kilka (Tabela 2) prac opisujących wpływ promieniowania UV-C na inaktywację wirusa-2 ostrej niewydolności oddechowej. Zespół Heilingloh [29] inaktywował SARS-CoV-2 w płynnym medium (redukcja o $> 6,7 \log_{10}$) przy zastosowaniu powierzchniowej mocy dawki UV-C rzędu 1048 mJ/cm^2 . Badania Fisher i wsp. [11], Smith i wsp. [28], i Ozog i wsp. [24] wykazały, że sterylizacja masek N95 promieniowaniem UV-C nie była skuteczna. Raport zespołu Ozog wykazał, że nie wszystkie testowane próbki osiągnęły redukcję $> 3,8 \log_{10}$ dla dawki UV-C 1500 mJ/cm^2 , przy czym najslabszy efekt zaobserwowano dla środków ochrony osobistej. W raporcie grupy Fishera, podczas gdy na stali nierdzewnej zaobserwowano redukcję miana SARS-CoV-2 o $\geq 4 \log_{10}$ przy użytej dawce UV-C 330 mJ/cm^2 , tak dla próbek pobranych z masek N95 traktowanych dawką 1980 mJ/cm^2 nie udało się zaobserwować redukcji miana wirusa o więcej niż 3 \log_{10} (dane szacowane na podstawie wykresów z publikacji).

Podsumowanie

Jakkolwiek nie ma wątpliwości, że promieniowanie UVC jest skuteczne w inaktywacji SARS-CoV-2, efektywność zastosowanej dawki (funkcja natężenia promieniowania i czasu) wydaje się być silnie zależna od wielu czynników, takich jak miano wirusa, wielkość i rodzaj inokulum, medium hodowlane wirusa, czy typ materiału, na którym prowadzone są badania [33-35]. Skąpe dane literaturowe na temat wykorzystania promieniowania UV-C w inaktywacji SARAS-CoV-2 są niejednorodne, czasami sprzeczne, a tym samym trudne do interpretacji. Niemniej jednak, dawka wielkości 1000 mJ/cm^2 pozwala na redukcję miana wirusa o ~ 4 do $5 \log_{10} \text{ TCID}_{50}/\text{mL}$ przy bezpośredniej ekspozycji na promieniowanie. Sterylizacja przy użyciu promieniowania z zakresu UV-C jest całkowicie bezpieczna, warto jednak podkreślić, że przypadkowe narażenie na promieniowanie ultrafioletowe może być niebezpieczne dla ludzi [36]. W literaturze znajduje się co najmniej jeden przypadek ostrego zapalenia spojówek wywołanego promieniowaniem UV (ślepoty śnieżnej) i fototoksycznych zmian naskórki spowodowanych niewłaściwym użytkowaniem urządzenia do dezynfekcji emitującego UV-C w warunkach domowych [37].

Proces sterylizacji powietrza przez produkty oferowane przez firmę UV-C Energy s.c. Jarosław Brussa Iwona Brussa odbywa się poprzez wymuszony obieg powietrza przez komorę dezynfekcyjną, w której znajdują się wysokiej jakości emitery promieniowania UV-C marki Philips o maksimum emisji przy 254 nm, co odpowiada powierzchniowej gęstości mocy $GP = 0,36 \text{ mW/cm}^2$, w odległości 1 m od źródła promieniowania. Lampy te charakteryzują się wysoką żywotnością do 9000 godz. ciągłej pracy oraz, co niezmiernie ważne, niską zawartością rtęci. Zastosowana technologia filtrów węglowych w połączeniu z wysokosprawnymi wentylatorami pozwala na uzyskanie wydajności sterylizacji powietrza od 120 do $2500 \text{ m}^3/\text{godz.}$, co odpowiada powierzchni pomieszczeń od 25 do 500 m^2 , przy stosunkowo niedużym poborze mocy i cichej pracy. Ważną zaletą opisywanych urządzeń jest to, że promienniki UV-C są zabudowane we wnętrzu urządzenia, a emitowane promieniowanie nie wydostaje się na zewnątrz, dlatego personel znajdujący się w pomieszczeniu nie jest narażony na szkodliwe skutki bezpośredniej ekspozycji na promieniowanie ultrafioletowe. Zamknięta i bezpieczna obudowa zgodna (stopień ochrony IP20 lub IP40) pozwala na zachowanie urządzenia w czystości przy minimalnych wkładzie pracy.

Opierając się na przytoczonych danych literaturowych, stwierdzić należy, iż technologie przepływowej sterylizacji powietrza oferowane przez firmę UV-C Energy s.c. Jarosław Brussa Iwona Brussa, przy zadeklarowanych parametrach pracy, są środkami wystarczającymi do inaktywacji SARS-CoV-2 jak i innych wirusów, i drobnoustrojów chorobotwórczych, charakterystycznych dla naszego klimatu. Opisywane lampy przepływowe mogą być stosowane salach chorych, izbach przyjęć, poczekalniach, laboratoriach, aptekach, placówkach opiekuńczych i edukacyjnych, przemyśle farmaceutycznym,

spożywczo-przetwórczym, kosmetycznym, gastronomii i hotelarstwie jednostkach administracji publicznej jak również w warunkach domowych.

Bibliografia

1. V'Kovski P, Kratzel A, Steiner S, Stalder H, Thiel V (2020) Coronavirus biology and replication: implications for SARS-CoV-2. *Nat Rev Microbiol*.
2. (2020) Raport zakażeń koronawirusem (SARS-CoV-2). www.mz.gov.pl: Ministerstwo Zdrowia.
3. Li R, Pei S, Chen B, Song Y, Zhang T, et al. (2020) Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV-2). *Science* 368: 489-493.
4. Chen N, Zhou M, Dong X, Qu J, Gong F, et al. (2020) Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *Lancet* 395: 507-513.
5. (2020) Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). www.who.int: World Health Organization.
6. Lai C-C, Shih T-P, Ko W-C, Tang H-J, Hsueh P-R (2020) Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19): The epidemic and the challenges. *International Journal of Antimicrobial Agents* 55: 105924.
7. Casini B, Tuvo B, Cristina ML, Spagnolo AM, Totaro M, et al. (2019) Evaluation of an Ultraviolet C (UVC) Light-Emitting Device for Disinfection of High Touch Surfaces in Hospital Critical Areas. *Int J Environ Res Public Health* 16.
8. Kowalski W (2009) *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*. Berlin, Heidelberg: Springer.
9. Jagger J (1987) Introduction to Research in Ultraviolet Photobiology. *Photochemistry and Photobiology* 7: 413.
10. Budowsky EI, Bresler SE, Friedman EA, Zheleznova NV (1981) Principles of selective inactivation of viral genome. I. UV-induced inactivation of influenza virus. *Arch Virol* 68: 239-247.
11. Cohen J, Normile D (2020) New SARS-like virus in China triggers alarm. *Science* 367: 234-235.
12. Zhou P, Yang X-L, Wang X-G, Hu B, Zhang L, et al. (2020) Discovery of a novel coronavirus associated with the recent pneumonia outbreak in humans and its potential bat origin. *bioRxiv*: 2020.2001.2022.914952.
13. Hui DS, E IA, Madani TA, Ntoumi F, Kock R, et al. (2020) The continuing 2019-nCoV epidemic threat of novel coronaviruses to global health - The latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan, China. *Int J Infect Dis* 91: 264-266.
14. Pyrc K (2015) The human coronaviruses. *Postępy Nauk Medycznych* 28: 48-54.

15. Wu C, Liu Y, Yang Y, Zhang P, Zhong W, et al. (2020) Analysis of therapeutic targets for SARS-CoV-2 and discovery of potential drugs by computational methods. *Acta Pharm Sin B* 10: 766-788.
16. Shang W, Yang Y, Rao Y, Rao X (2020) The outbreak of SARS-CoV-2 pneumonia calls for viral vaccines. *NPJ Vaccines* 5: 18.
17. Gordon DE, Jang GM, Bouhaddou M, Xu J, Obernier K, et al. (2020) A SARS-CoV-2-Human Protein-Protein Interaction Map Reveals Drug Targets and Potential Drug-Repurposing. *bioRxiv*.
18. Chan KH, Sridhar S, Zhang RR, Chu H, Fung AY, et al. (2020) Factors affecting stability and infectivity of SARS-CoV-2. *J Hosp Infect* 106: 226-231.
19. Chin AWH, Chu JTS, Perera MRA, Hui KPY, Yen HL, et al. (2020) Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe* 1: e10.
20. Behzadinasab S, Chin A, Hosseini M, Poon L, Ducker WA (2020) A Surface Coating that Rapidly Inactivates SARS-CoV-2. *ACS Appl Mater Interfaces* 12: 34723-34727.
21. Biryukov J, Boydston JA, Dunning RA, Yeager JJ, Wood S, et al. (2020) Increasing Temperature and Relative Humidity Accelerates Inactivation of SARS-CoV-2 on Surfaces. *mSphere* 5.
22. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1: *N Engl J Med*. 2020 Apr 16;382(16):1564-1567. doi: 10.1056/NEJMc2004973. Epub 2020 Mar 17.
23. Fischer R, Morris D, van Doremalen N, Sarchette S, Matson MJ, et al. (2020) Effectiveness of N95 Respirator Decontamination and Reuse against SARS-CoV-2 Virus. *Emerging Infectious Disease journal* 26: 2253.
24. Kasloff SB, Strong JE, Funk D, Cutts TA (2020) Stability of SARS-CoV-2 on Critical Personal Protective Equipment. *medRxiv*: 2020.2006.2011.20128884.
25. Tsai P (2020) Performance of Masks and Discussion of the Inactivation of SARS-CoV-2. *Engineered Science* 10: 1-7.
26. Smith JS, Hanseler H, Welle J, Rattray R, Campbell M, et al. (2020) Effect of various decontamination procedures on disposable N95 mask integrity and SARS-CoV-2 infectivity. *medRxiv*: 2020.2004.2011.20062331.
27. Ou Q, Pei C, Chan Kim S, Abell E, Pui DYH (2020) Evaluation of decontamination methods for commercial and alternative respirator and mask materials – view from filtration aspect. *Journal of Aerosol Science* 150: 105609.
28. Liao L, Xiao W, Zhao M, Yu X, Wang H, et al. (2020) Can N95 Respirators Be Reused after Disinfection? How Many Times? *ACS Nano* 14: 6348-6356.

29. Heilingloh CS, Aufderhorst UW, Schipper L, Dittmer U, Witzke O, et al. (2020) Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation. *Am J Infect Control* 48: 1273-1275.
30. Inagaki H, Saito A, Sugiyama H, Okabayashi T, Fujimoto S (2020) Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with deep-UV LED irradiation. *Emerg Microbes Infect* 9: 1744-1747.
31. Ozog DM, Sexton JZ, Narla S, Pretto-Kernahan CD, Mirabelli C, et al. (2020) The effect of ultraviolet C radiation against different N95 respirators inoculated with SARS-CoV-2. *Int J Infect Dis* 100: 224-229.
32. Ratnesar-Shumate S, Williams G, Green B, Krause M, Holland B, et al. (2020) Simulated Sunlight Rapidly Inactivates SARS-CoV-2 on Surfaces. *J Infect Dis* 222: 214-222.
33. Lindblad M, Tano E, Lindahl C, Huss F (2020) Ultraviolet-C decontamination of a hospital room: Amount of UV light needed. *Burns* 46: 842-849.
34. Lambert RJ (2000) Susceptibility testing: inoculum size dependency of inhibition using the Colworth MIC technique. *J Appl Microbiol* 89: 275-279.
35. Lai MYY, Cheng PKC, Lim WWL (2005) Survival of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus. *Clinical Infectious Diseases* 41: e67-e71.
36. Zaffina S, Camisa V, Lembo M, Vinci MR, Tucci MG, et al. (2012) Accidental exposure to UV radiation produced by germicidal lamp: case report and risk assessment. *Photochem Photobiol* 88: 1001-1004.
37. Leung KCP, Ko TCS (2021) Improper Use of the Germicidal Range Ultraviolet Lamp for Household Disinfection Leading to Phototoxicity in COVID-19 Suspects. *Cornea* 40: 121-122.