



foto: Kzysztof Lokaj/Fotozrepa

Lampy bakteriobójcze na sali operacyjnej

Technologia dezynfekcji

Witold Ponikto

Zbyt wysoki poziom czystości otoczenia coraz częściej jest wskazywany jako możliwa przyczyna wzrastającej populacji osób dotkniętych alergią. Po prostu naturalne środowisko, w którym żyjemy, zawiera określone mikroorganizmy, z którymi przychodzi nam egzystować w gorszej lub lepszej symbiozie. Ale powyższe dotyczy warunków *normalnych*. We wszystkich innych okolicznościach, a szczególnie wtedy, gdy nasz organizm pozbawiony jest naturalnych barier ochronnych, wysoki poziom czystości mikrobiologicznej otoczenia jest warunkiem bezpieczeństwa.

Taka sytuacja zachodzi przy stosowaniu wielu technologii medycznych, w tym szczególnie podczas zabiegów chirurgicznych. Zatem poziom czystości sal operacyjnych jest krytycznym warunkiem umożliwiającym bezpieczne prowadzenie zabiegów operacyjnych.

Unieszkodliwianie mikroorganizmów

Owo bezpieczeństwo (mikrobiologiczne) jest realizowane na salach operacyjnych wielorakimi działaniami, sprowadzającymi się do minimalizowania liczby mikroorganizmów, które mogą się na nich znaleźć

i przetrwać. Ale nawet najbardziej szczelne i skuteczne bariery mikrobiologiczne nie chronią sali operacyjnej przed pojawieniem się mikroorganizmów, pochodzących chociażby z pola operacyjnego. Przygotowanie sali operacyjnej do następnego zabiegu wymaga, by owe (i inne) mikroorganizmy zostały w znacznym stopniu unieszkodliwione, czyli by sala operacyjna poddana została dezynfekcji.

Proces dezynfekcji wykonywany jest w praktyce dwiema metodami, które uzupełniają się wzajemnie:

- z *użyciem płynnych środków dezynfekcyjnych* – coraz bardziej skutecznych, wymagających określone-

go (kilkuminutowego) kontaktu z powierzchnią, która ma zostać odkażona;

- **poprzez naświetlanie sali operacyjnej promieniami ultrafioletowymi.** Promieniowanie ultrafioletowe (UV) jest promieniowaniem niewidzialnym dla oka ludzkiego i zawiera się w długości fali 100–400 nm (1 nm to 10^{-9} m). Słońce emituje pełne spektrum promieniowania UV, jednak w zasadniczym stopniu promieniowanie to pochłaniane jest przez atmosferę Ziemi.

Obydwie powyższe technologie dezynfekcyjne stosowane są od wielu lat. Mimo to, dla pełniejszego zrozumienia procesu dezynfekcji z wykorzystaniem promieniowania ultrafioletowego, warto przeanalizować jego właściwości i podjąć próbę odpowiedzi na pytanie, w jakich warunkach jego oddziaływanie na mikroorganizmy jest najbardziej efektywne.

Skuteczne promieniowanie

Z punktu widzenia właściwości bakteriobójczych, najbardziej skuteczne jest promieniowanie ultrafioletowe, nazwane umownie UV-C, o długości fali 200–280 nm. Niszczy ono wszelkiego rodzaju bakterie, a także wirusy, grzyby i pleśnie. Maksymalny efekt mikrobiologiczny promieniowania UV-C przypisywany jest długościom fali 264 nm i 185 nm. Dezynfekcja polega na bezpośredniej ekspozycji mikroorganizmów na to promieniowanie. Efekt biologiczny uzyskiwany w takich warunkach sprowadza się do penetracji promieniowania do wnętrza komórek mikroorganizmu i uszkodzeniu ich kodu DNA. W większości przypadków oznacza to zniszczenie tego organizmu lub przynajmniej zablokowanie możliwości jego rozmnażania. Powyższy opis wymaga następujących uściśleń:

- promieniowanie UV-C niszczy mikroorganizmy tylko w przypadku bezpośredniej ekspozycji. Zatem mikroorganizm A osłonięty mikroorganizmem B ma duże szanse na przetrwanie;
- ów wymóg bezpośredniej ekspozycji oznacza także, że skutecznie dezynfekowana jest tylko powierzchnia i/lub objętość objęta strumieniem promieniowania emitowanym ze źródła UV-C. Zatem wszelkiego rodzaju powierzchnie pozostające w cieniu (np. zasłonięte elementami wyposażenia sali operacyjnej) nie są dezynfekowane;
- skuteczność dezynfekcji jest ściśle związana z natężeniem i czasem oddziaływania promieniowania UV-C, a zatem z dawką promieniowania, jaką pochłonie mikroorganizm. Z kolei efektywna (niszcząca) dawka związana jest z rozmiarami i rodzajem organizmu. Przyjmuje się, że w najbardziej niekorzystnych (dla skuteczności dezynfekcji) warunkach, jednorazowa ekspozycja na dawkę promieniowania UV-C na poziomie 300 tys. $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ jest w pełni skuteczna. Dla ilustracji, powyższego – bakteria *E. coli* ginie przy dawce 6 600 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$.



foto: Kuba Kamiński/Fotorepa

„ Nawet najbardziej szczelne i skuteczne bariery mikrobiologiczne nie chronią sali operacyjnej przed pojawieniem się mikroorganizmów, pochodzących chociażby z pola operacyjnego ”

- oczywiste jest, że promieniowanie ultrafioletowe, w tym UV-C jest – przy dłuższej ekspozycji – promieniowaniem szkodliwym dla człowieka (skóra – niszczenie kolagenu, system immunologiczny), a szczególnie dla oczu. Ilustracją niszczących możliwości promieniowania UV jest degradacja tworzyw sztucznych (polimerów), jak również zmiana ich oryginalnego koloru.

Źródło promieniowania

W powszechnej praktyce, źródłem promieniowania UV są niskociśnieniowe lampy wyładowcze zawierające opary rtęci. Tego rodzaju lampy – o nazwie handlowej zawierającej słowo *bakteriobójcze* – emitują przede wszystkim (nawet 95 proc.) promieniowanie o długości fali 253,7 nm, czyli w bezpośrednim sąsiedztwie długości fali pożądanej dla efektu dezynfekcji.

Ze względu na miejsce i sposób instalacji, lampy bakteriobójcze dzielą się na:

- naścienne (N);
- sufitowe (S);
- ruchome, na statywie (P).

Z kolei ze względu na sposób dezynfekcji, lampy można podzielić na:

- bezpośredniego oddziaływania – lampa emituje promieniowanie bezpośrednio do dezynfekowanego pomieszczenia. W zależności od konstrukcji lampy, w obudowie umieszczony jest jeden lub więcej promiennik UV;
- przepływowe – promiennik (lub promienniki) umieszczony jest w zamkniętej budowie, a jego działanie sprowadza się do naświetlania powietrza, którego przepływ przez obudowę wymuszony jest wentylatorem, stanowiącym integralną część lampy bakteriobójczej;
- przepływowe z dodatkowym, zewnętrznym źródłem promieniowania UV.

Z reguły lampy bakteriobójcze wyposażone są w liczniki czasu włączenia – umożliwiają to monitorowanie skuteczności ich pracy, czyli czasu emisji promieniowania oraz pozwala na ocenę potrzeby wymiany promienników. Należy zauważyć, że dobór lamp bakteriobójczych do konkretnej sali operacyjnej – zarówno rodzaju lampy i liczby promienników, jak i ich mocy – musi być świadomym działaniem, uwzględniającym takie czynniki, jak kubatura pomieszczenia, panująca w nim średnia temperatura i wilgotność powietrza, a także efektywność systemu wentylacji.

Wybór lamp

Zasadniczym zagadnieniem jest decyzja o wyborze rodzaju lamp bakteriobójczych (bezpośrednich lub przepływowych) dla sali operacyjnej. Lampy z promiennika-

” Z punktu widzenia właściwości bakteriobójczych, najbardziej skuteczne jest promieniowanie ultrafioletowe nazwane umownie UV-C, o długości fali 200–280 nm. Niszczy ono wszelkiego rodzaju bakterie, a także wirusy, grzyby i pleśnie ”



fol. Seweryn Soltys/Fotorepa



fol. Marian Zubrzycki/Fotorepa

mi bezpośrednimi spełniają nieocenioną rolę w dezynfekcji konkretnych powierzchni, na które skierowany jest strumień światła. Powierzchnie te można przecież zdezynfekować odpowiednimi płynami. Poza tym dezynfekcja powierzchni winna być dokonywana ze świadomością istnienia stref cienia, do których nie dociera promieniowanie UV, czyli takich stref, które nie zostaną zdezynfekowane. Inną ułomnością lamp UV z promiennikiem bezpośrednim jest problem dezynfekcji powietrza. Eliminacja mikroorganizmów zawieszonych w powietrzu jest krytyczna dla skuteczności dezynfekcji sali operacyjnej. Wprawdzie trudno sobie wyobrazić pełny bezruch powietrza w pomieszczeniu (w takim przypadku dezynfekowana byłaby tylko objętość wyznaczona przez strumień promieniowania), ale także nie ma pewności, że występujące w sali operacyjnej ruchy powietrza (związane z konwekcją i wentylacją oraz ewentualnymi turbulencjami wywołanymi np. otwarciem drzwi) są wystarczające, by cała objętość powietrza przepłynęła przez obszar promieniowania UV. W praktyce lampy bakteriobójcze bezpośrednie najczęściej skierowywane są tak, by promieniowanie oddziaływało na górne warstwy powietrza w pomieszczeniu, przy założeniu, że zdezynfekowane powietrze opadnie niżej. Przy tej technice dezynfekcji, niszczenie mikroorganizmów na poziomie stołu operacyjnego i podłogi wymaga użycia przynajmniej 2 lamp. Oczywiście, długotrwałe naświetlanie (np. często praktykowane wielogodzinne włączanie lamp bakteriobójczych na sali operacyjnej – szczególnie w nocy) podnosi skuteczność dezynfekcji, jednak ciągle ma ona charakter działania na ślepo. Warto ponownie podkreślić, że promieniowanie UV jest promieniowaniem szkodliwym, zatem w czasie dezynfekcji lampami bakteriobójczymi



bezpośrednimi, sala operacyjna musi być wyłączona z eksploatacji. W przypadku lamp przepływowych nie występuje zjawisko dezynfekcji powierzchni. Dezynfekowane jest wyłącznie powietrze, które przepływa w kontrolowanej objętości (wydajność wentylatora) przez obudowę lampy. W tym kontekście dobór liczby lamp, mocy promienników i wydajności wentylatorów winien być przedmiotem szczegółowej analizy, w wyniku której możliwe jest ustalenie długości czasu pracy lamp (lub lampy), kiedy to cała objętość powietrza zostanie zdezynfekowana. Dodatkową zachętą do stosowania tego typu lamp jest pełne bezpieczeństwo pracy osób przebywających w sali operacyjnej przy włączonej bakteriobójczej lampie przepływowej. Taka technika dezynfekcji powietrza wydaje się efektywniejsza niż w przypadku lamp bakteriobójczych bezpośredniego oddziaływania, gdyż część mikroorganizmów niszczone jest bezpośrednio po penetracji do atmosfery (czyli podczas zabiegu operacyjnego), bez możliwości osadzenia się na ścianach, podłodze czy wyposażeniu sali.

Niewątpliwie kompromisowym rozwiązaniem jest wybór lamp przepływowych z dodatkowym promiennikiem zewnętrznym. Takie rozwiązanie łączy możliwości dezynfekcji obu opisanych powyżej typów lamp bakteriobójczych, z zastrzeżeniem, że promiennik zewnętrzny nie może być używany w obecności na sali operacyjnej jakichkolwiek osób.

Ostateczne efekty

Podsumowując powyższe, należy stwierdzić, że:

- promieniowanie UV-C jest skuteczną technologią dezynfekcji, której szczególną zaletą jest możliwość

niszczenia mikroorganizmów zawieszonych w powietrzu oraz dezynfekcja powierzchni na sucho;

- połączenie dezynfekcji promieniami UV i odpowiednimi, płynnymi środkami dezynfekującymi daje dobre efekty w zakresie minimalizacji mikroorganizmów w środowisku sali operacyjnej;
- niekwestionowana skuteczność powyższych metod jest tym efektywniejsza, im bardziej poprawne są elementy infrastruktury technicznej kształtujące środowisko sali operacyjnej:
 - materiał pokrywający ściany, podłogę i sufit,
 - system wentylacji – w domyśle system mechaniczny, zawierający filtry bakteriologiczne na wlocie powietrza do sali operacyjnej i utrzymujący tam odpowiednie nadciśnienie, eliminujące niekontrolowaną penetrację powietrza z sąsiednich pomieszczeń.

Zatem na zagadnienie dezynfekcji sal operacyjnych promieniami UV należy patrzeć jako na technologię, której ostateczne efekty są złożeniem wielu czynników, wśród których szczególnie warto podkreślić poprawność instalacji lamp bakteriobójczych, ogólny stan infrastruktury sali operacyjnej i poziom świadomości użytkowników.

Tytuł i śródtytuły pochodzą od redakcji