

(21)

Okulistyczna sala operacyjna – możliwości ograniczenia zanieczyszczeń i zakażeń. Cz. I. Dekontaminacja bioaerozolu powietrza

Ophthalmic operating theatre – chance of limiting contamination and infection risk. Part I. Decontamination of the microbial air pollution

Józef Kałużny¹, Zygmunt Muszyński², Bartłomiej J. Kałużny¹

¹Z Katedry i Kliniki Okulistycznej Akademii Medycznej w Bydgoszczy

Kierownik: prof. dr hab. n. med. Józef Kałużny

²Z Katedry i Zakładu Bakteriologii Farmaceutycznej Uniwersytetu Medycznego

im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Kierownik: prof. dr hab. n. med. Zygmunt Muszyński

Summary:

Even the best technical and organizational methods will not prevent the infection of the spot being operated on. The risks may be caused for example by the microbial air pollution of the operating theatre. Ways of air decontamination for the purposes of air conditioning and ventilating used in the operating theatre are both up-to-date and essential.

Decontamination methods involve filtration by means of HEPA, ULPA, EU-13 filters with 99.99% effectiveness for $\leq 0.1 \mu\text{m}$ particles. The most suitable sterile air flow is a displacing, vertical, ceiling system e.g. $3.2 \times 3.2 \text{ m}$ according with the requirements of the laminar air flow (LAF) at the speed of 0.3-0.5 m/sec. The above system should provide 1 cfu/m³ over the operating theatre and „safe bio conditions” at 30-100 cfu/m³ during at least 3-hour work.

Decontamination by means of filtration is cost effective both in production and in use: the cost of filters exchanging, humidification, the problem of Legionella pneumophila or the air cooling system. MFI (Multifunction Ion Air Cleaning) does not show the abovementioned limitations. The method makes use of the combination of the ionising processes and electrostatic attraction of particles $> 0.003 \mu\text{m}$ which include cells of bacteria, fungi and some viruses. MFI technology used in Nanobio E 310 (Genano) working at 250 m³/h allows for eliminating microorganisms from the air at $\leq 1 \text{ cfu/m}^3$. These decontamination methods make it possible to achieve appropriate microbiological standards when the appliance is properly used.

Słowa kluczowe:

sala operacyjna, bioaerozol powietrza, metody dekontaminacji, skuteczność $\leq 1 \text{ cfu/m}^3$.

Key words:

operating theatre, microbial air pollution, decontamination methods, efficiency $\leq 1 \text{ cfu/m}^3$.

Naruszenie powłok ciała przez chirurga, szczególnie w sytuacji braku w tkankach operowanych procesu infekcyjnego, wymaga spełnienia całego szeregu warunków określanych postępowaniem aseptycznym. Bardzo wysokie wymagania co do aseptyki dotyczą kardiochirurgii i neurochirurgii. Do tej grupy należy zaliczyć również wszystkie operacje obejmujące wnętrze gałki ocznej, a więc zaćmę, jaskrę, podanie leku do wnętrza oka, odwarstwienie siatkówki, witrektomię, a także chirurgię refrakcyjną rogówki. Wiadomo, że wnętrze oka, jak i sama rogówka stanowią dobrą pożywkę do rozwoju bakterii i w trakcie operacji powinny być szczególnie chronione.

Realia polskiego szpitalnictwa okulistycznego w roku 2007 są wszystkim dobrze znane. Z jednej strony niedoinwestowane i nieremontowane, nierzadko przestarzałe placówki publicznej służby zdrowia i burzliwy rozwój placówek prywatnych, często ulokowanych w dość przypadkowych obiektach; z drugiej strony – w polskim piśmiennictwie okulistycznym, jak i w podręcznikach chirurgii okulistycznej wydawanych w Polsce brakuje informacji dotyczących wymagań co do sali operacyjnej okulistycznej, nadającej się do operacji gałkowych. Obowiązują

jące w naszym kraju przepisy dotyczące sal czy bloków operacyjnych (Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 10 listopada 2006) w wielu kwestiach są zbyt lakoniczne czy niepełne.

W obecnym stanie konsultanci wojewódzcy ds. okulistyki otrzymują do zaopiniowania wnioski, w których inspektor sanitarny wyraża zgodę na „zabiegi wykonywane w znieczuleniu miejscowym, tj. operacje powiek, spojówek, chirurgię zaćmy, jaskry, narządu łzowego, urazów aparatu chroniącego oka i przedniej części gałki ocznej” w pomieszczeniach, które nie spełniają wielu wymogów określonych dla sali operacyjnej. Nie można stawiać w równym rzędzie wymagań sanitarno-higienicznych co do operacji zaćmy i zabiegów na powiekach.

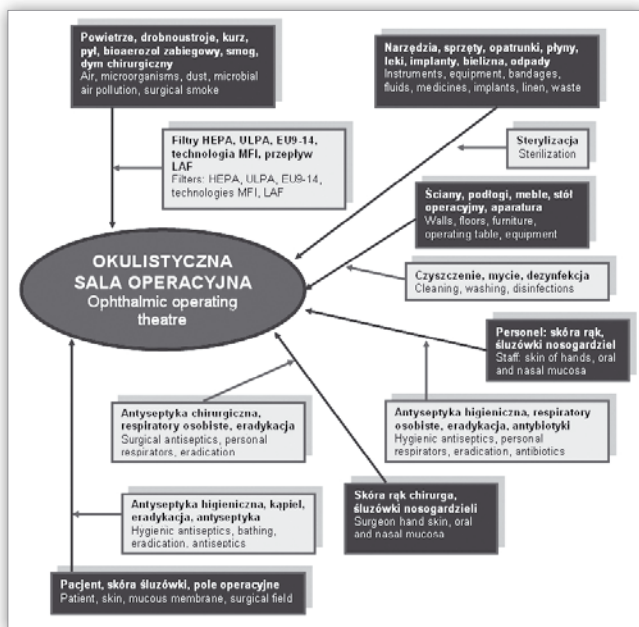
Ten fakt skłonił nas do przedstawienia wymogów dotyczących czystości mikrobiologicznej okulistycznych sal operacyjnych, przeznaczonych do operacji wewnątrzgałkowych i refrakcyjnych rogówki.

Zakażenie szpitalne, np. miejsca operowanego, może mieć źródło egzogenne i endogenne. Egzogenne to takie, które pochodzi od innego chorego (zakażenia krzyżowe), personelu lub ze środowiska szpitalnego, np. aerozol biologiczny powietrza

(ryc. 1). Endogenne oznacza zakażenie własną mikroflorą bakteryjną, np. skóry lub błon śluzowych. Oba typy zakażeń najczęściej dotyczą zakażenia miejsca operowanego (ZMO) i często zachodzą na sali operacyjnej (ryc. 1). Są one problemem nawet na prawidłowo funkcjonującym oddziale chirurgicznym, gdzie ZMO stanowi 25-30% wszystkich zakażeń i jest jednym z najczęściej spotykanych w chirurgii (1).

Zakażenia szpitalne na oddziałach okulistycznych są znacznie rzadsze i stanowią, niemal zawsze, mniej niż 0,5%, jak wykazały badania prowadzone w ramach National Nosocomial Infections Survey przez CDC w USA (2). Zakażenia rany operacyjnej w okulistyce mogą przyjmować różne postacie, takie jak np. zapalenie tkanek oczodołu, woreczka łzowego, nadtwardówki i twardówki oraz zapalenia wnętrza gałki ocznej. Powyżej wymienione zakażenia są wywoływane przez różne czynniki etiologiczne, takie jak np. *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Hemophilus influenzae*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus pneumoniae*, *Moraxella spp.* i inne pałeczki Gram-ujemne oraz grzyby. Źródła zakażeń rany operacyjnej w okulistyce to: zakażenia woreczka łzowego, zanieczyszczenia mikrobiologiczne powietrza, płynów irygacyjnych, narzędzi, implantów oraz własna flora bakteryjna pacjenta, osobnym zagadnieniem są wszczepy bioimplantów, np. rogówki z czynnikiem etiologicznym CJD (2,3,4).

W latach 90. XX wieku badania w Bascom Palmer Eye Institute, University of Miami (5) wykazały zależność pomiędzy rodzajem zabiegu operacyjnego a częstością zakażenia, np. po operacjach usunięcia zaćmy z wszczepem soczewki lub bez wszczepu soczewki – 0,12-0,18%, natomiast po keratoplastyce i zabiegach przeciwjaskrowych – 0,7-0,9%.



Ryc. 1. Źródła i drogi transmisji oraz sposoby dekontaminacji i ograniczenia zanieczyszczeń i zakażeń miejsca operowanego na okulistycznej sali operacyjnej.

Fig. 1. Sources, ways of transmission, means of decontamination and limiting of contamination and infections of surgical wound in the ophthalmic operating theatre.

Do podstawowych mechanizmów przyczyniających się do zakażenia rany operacyjnej w okulistyce należą:

- tworzenie biofilmu, np. przez *S. aureus* i *S. epidermidis* na powierzchni soczewek i wszczepów (6),
- wnikanie bakterii do wnętrza oka w trakcie zabiegu wraz z cząstkami bioaerozolu, np. pyłu lub dymu chirurgicznego powstających podczas chirurgii laserowej czy elektrokoagulacji (7,8).

Należy podkreślić, że chociaż zakażenia w okulistyce są mało znaczące w aspekcie liczbowym, to mają ogromne kliniczne znaczenie, ponieważ dotyczą szczególnego organu zmysłu, jakim jest wzrok, którego utrata lub osłabienie to poważne kalectwo.

W powietrzu drobnoustroje najczęściej występują w postaci bioaerozolu. Bioaerozole są to układy dwu- lub trójfazowe, składające się z fazy rozpraszającej (powietrze) oraz rozpuszczonej fazy stałej lub ciekłej, zawierającej drobnoustroje. Drobnoustroje są przyłączone do cząstek pyłu i kurzu, a zawarte w mikrokropelkach płynu mogą utrzymywać się w powietrzu przez długi czas. Sedymentacja (osiadanie) bioaerozolu zależy od wilgotności i wielkości komórek oraz cząstek kurzu lub ich aglomeratów, np. te o średnicy > 5 μm opadają w spokojnym powietrzu z szybkością 5 cm/ min. Jest to naturalny mechanizm samooczyszczenia powietrza pod wpływem sił grawitacyjnych (9,10,11).

Bioaerozol rozprzestrzenia się w powietrzu za pomocą tzw. dynamicznej projekcji mikrokropel, którą uzyskują one np. podczas kaszlu, kichania lub mowy, oraz za pomocą systemu wentylacyjno-klimatyzacyjnego powietrza oraz prądów konwekcyjnych powietrza (9,10,11).

Cel

W części I publikacji opracowano i omówiono możliwości dekontaminacji bioaerozolu powietrza okulistycznej sali operacyjnej w celu ograniczenia ZMO (ryc. 1) jako jednego z głównych źródeł i dróg transmisji zakażeń.

W części II będą przedstawione możliwości dekontaminacji ZMO, np. wskutek używania sprzętów i narzędzi, poprzez środowisko sali operacyjnej, skórę rąk i błony śluzowe personelu i pacjenta, które zostały wymienione na ryc. 1.

Główne źródła drobnoustrojów w powietrzu pomieszczenia bloku operacyjnego (9,12,13,14,15,16)

- Drobnoustroje pochodzące z zewnątrz, np. w wyniku działania instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, awarii instalacji filtracyjnych czy obecnych nieszczelności np. okiennych w liczbie 10^3 - 10^5 cfu/m³ (cfu – colony forming unit) w przypadku bakterii oraz 10^4 cfu/m³ w przypadku grzybów.
- Mikroflora górnych dróg oddechowych personelu podczas kichania, kaszlu i mowy, np. wydzielina nosa lub ślina zawierają 10^6 - 10^7 cfu/ml, mikrokropelki śliny opadające na posadzki i ściany odparowują i wówczas drobnoustroje przechodzą do bioaerozolu powietrza.
- Drobnoustroje są emitowane przez człowieka wraz ze złuszczonego naskórkiem, osoba w stanie spoczynku emituje około 10^6 cząstek o wielkości $\geq 0,3 \mu\text{m}$ / min, przy aktywności fizycznej emisja wzrasta do 10^7 cząstek/ min.
- Liczba zanieczyszczeń mikrobiologicznych zmienia się w czasie pracy, zwiększa się z upływem czasu i liczby zabiegów,

osiąga największy poziom podczas ruchu i/ lub wymiany personelu, jego przemieszczania się, ruchu drzwi, także przy wzroście wilgotności powietrza.

- Drobnoustroje mogą pochodzić z zakażeń przyranych pacjentów i/ lub od nosicieli wśród personelu.
- Drobnoustroje osiadają na cząstkach pyłu i kurzu pochodzącego z podłóg, ubrań, opatrunków, np. bioaerozol zabiegowy.
- Patogeny, np. wirusy w bioaerozolu dymu chirurgicznego w czasie chirurgii laserowej, to ryzyko infekcji np. HCV, HBV, HPV lub HIV, ponieważ w dymie wykazano obecność ww. wirionów i/ lub prowirusowego DNA i potwierdzono zakaźność (8).
- Drobnoustroje pochodzące z korozji mikrobiologicznej ścian czy materiałów wykończeniowych.

Drobnoustroje alarmowe, wielooporne (MR), zwane także patogenami alertowymi, są czynnikami ryzyka w powietrzu bloku operacyjnego pozbawionego dekontaminacji oraz objęte wymogiem rejestracji i działań profilaktycznych (Dz. U. Nr 126, poz. 1384 i Nr 199, poz. 1938 2003):

1. *Staphylococcus aureus* MRSA, EMRSA, MRCNS, hVISA, VISA, VRSA.
2. *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus pneumoniae* MR.
3. *Enterococcus spp.*, VRE, HLAR.
4. Pałeczki *Enterobacteriaceae* ESβL(+), MβL(+), *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter spp.*, *Stenotrophomonas spp.*, *Clostridium difficile*, *Salmonella* i *Shigella spp.*, *Corynebacterium diphtheriae* toksynotwórczy, *Bordetella pertussis*, *Neisseria meningitidis*, *Mycobacterium spp.*
5. Wirusy: VZV, grypy, odry, RSV, HAV, HBV, HCV i HIV.
6. Inne chorobotwórcze, wytypowane zgodnie z sytuacją epidemiologiczną, np. *Legionella pneumophila*, *Klebsiella pneumoniae* czy *Listeria monocytogenes*.

Architektura bloku operacyjnego, niektóre aspekty (wg Dz.U. nr 74, 1992 r. z późniejszymi zmianami)

- Centralny, oddzielony od reszty szpitala, również pod względem wentylacji, sala operacyjna bez okien, drzwi zamykane automatycznie, układ jednego, dwóch lub trzech korytarzy.
- Zasada całodobowego nadciśnienia i jednokierunkowości ruchu powietrza ze strefy mikrobiologicznie „czystej” w kierunku zanieczyszczonej, stąd na sali operacyjnej nad-

ciśnienie minimalne 10-20 Pa, śluzy 5-10 Pa, myjnie i przebiegalnie 5 Pa.

- Strefy o narastającym stopniu czystości mikrobiologicznej, zasada podwójnego śluzowania sali operacyjnej.
- Pomieszczenia sal operacyjnych, wysokość min. 3,30 m, powinny podlegać wentylacji i klimatyzacji z zastosowaniem nawiewu jałowego powietrza, nawiew górą (sufit lub nawiewnik), a wyciąg powietrza w 20% na każdej ścianie pod sufitem i w 80% na każdej ścianie przy podłodze, według DIN 1946-4 z 1999 r. minimalny strumień powietrza odprowadzany przy podłodze winien wynosić 1200 m³/h (ryc. 2) (9,13,15,16,17).
- Zasada jednokierunkowości śluz dla personelu, pacjentów, obiegu bielizny i instrumentarium chirurgicznego.
- Centralna sterylizatornia.

Możliwości dekontaminacji powietrza (11,12,13,15,16,17)

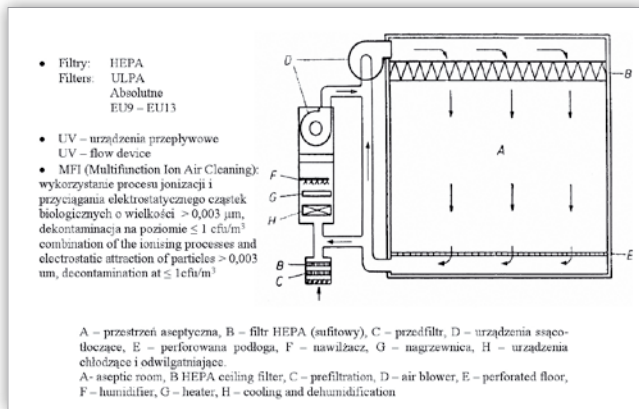
- Zastosowanie dwustopniowych filtrów włókninowych wysoko skutecznych HEPA (ryc. 2) (High Efficiency Particulate Air), filtrów klasy EU13-14, w tym filtrów wstępnych kieszeniowych klasy EU 7-9 wg PN-EN 1822-1:2001, filtrów absolutnych ULPA czy najnowszej generacji sposobu dekontaminacji wg technologii MFI (Multifunction Ion Air Cleaning) (18,19,20).
- Skuteczność dekontaminacji powietrza dla potrzeb bloku operacyjnego winna wynosić 99,99-99,999% dla cząstek $\geq 0,3 \mu\text{m}$, warunki te umożliwiają stopień dekontaminacji na poziomie $\leq 1 \text{ cfu/m}^3$, co odpowiada klasie czystości mikrobiologicznej powietrza, koniecznej dla placówek służby zdrowia (tab. I).
- Dla większości obecnych opracowań czystości mikrobiologicznej powietrza sal operacyjnych $\leq 1 \text{ cfu/m}^3$ ewentualnie $< 10 \text{ cfu/m}^3$ powietrza jest obowiązujący w normie niemieckiej DIN 1946-4 z 1999 roku, normy US Fed. Stand. 209P, ÖNORM H6020 (Austria), klasy czystości ISO wg prPN-EN ISO 14644-1, SKI-Swiss Hospital Institute z 1997 r. Analogiczny poziom czystości mikrobiologicznej podają normy GMP dla aseptycznej pracy, klasa A np. Dz. U. RP nr 224, poz. 1882 z 2002 r. dla pomieszczeń mikrobiologicznie czystych (tab. I).

Klasa Class	Limity zanieczyszczeń mikrobiologicznych Limits of microbial contamination			
	próbka powietrza air sample cfu/m ³	plytki – metoda sedymentacyjna (Ø90 mm) plates – sedimentation technique (Ø90 mm) cfu/4 godz.	plytki odciskowe (Ø 55 mm) plates – impression technique (Ø 55 mm) cfu/plytkę	odciski palców (dłoń w rękawiczce z 5 palcami) fingerprints technique (hand in 5-finger glove) cfu/rękawiczkę
A	< 1	< 1	< 1	< 1
B	10	5	5	5
C	100	50	25	-
D	200	100	50	-

Tab. I. Limity w monitorowaniu zanieczyszczeń mikrobiologicznych pomieszczeń czystych*.

Tab. I. Limits for monitoring of microbial contamination of clean rooms.

* wg Dz. U. nr 224, poz. 1882, 2002



Ryc. 2. Schemat sali operacyjnej z wyporowym systemem sufitowym, pionowym, nawiewu LAF powietrza po dekontaminacji.

Fig. 2. Schematic drawing of the operating theatre with displacing, vertical, ceiling system of laminar air flow (LAF) after decontamination.

- Wytyczne MZiOs z 1989 r. określają I klasę czystości mikrobiologicznej liczbą ≤ 70 cfu/m³ lub II klasę liczbą ≤ niż 300 cfu/m³ dla sal operacyjnych, dla których winien być zastosowany nawiew jałowego powietrza na poziomie ≤ 1 cfu/m³ odpowiadający najwyższej klasie koniecznej dla placówek służby zdrowia (tab. I).
- Wydaje się, że w warunkach krajowych w praktyce jako „mikrobiologicznie bezpieczne powietrze” przyjmuje się poziom ≤ 70 cfu/m³ (sala „czysta”) oraz do 200 cfu/m³ w trakcie używania ponad 3 godziny.
- Zastosowanie lamp UV, nawet jako urządzeń przepływowych, wykazuje wątpliwą przydatność dla dekontaminacji powietrza na sali operacyjnej.
- Osobnym problemem jest określenie i zdefiniowanie klas czystości pyłowej pomieszczeń bloku operacyjnego zgodnie z normą PrPN-EN ISO 14644-1; 1999 przedstawioną do dyskusji w Polskim Komitecie Normalizacyjnym, proponowana liczba cząstek pyłu > 0,5 μm winna wynosić < 4000 cząstek/m³ powietrza (21).

System nawiewu (rozdziału) jałowego powietrza na sali operacyjnej (9,13,15,16,17)

- Konwencjonalny: ścienny, stropowy – system liniowy lub węzłowy, skośny, anemostat, sufitowy Allandera (tab. II), lokalne źródła nawiewu np. metoda MFI Air Cleaning (ryc. 3) (18,19).
- Wyporowy: pionowy stropowy 3,2 m x 3,2 m, rzadziej poziomy, kabiny wyporowe operacyjne: centralne lub przesuwane mobilne (ryc. 2) (tab. II).
- Przepływ laminarny jałowego powietrza LAF (Laminar Air Flow), prędkość przepływu V = min. 0,25 do maks. 0,50 m/sek, pierwsze propozycje: Whitfield 1960, USA, w Polsce Muszyński 1969 (22).
- System LAF to przepływ z jednakową prędkością po torach równoległych w każdym miejscu urządzenia lub pomieszczenia, co ogranicza niekorzystną turbulencję powietrza (13,16,22).
- Jest zalecana częściowa recyrkulacja powietrza, w Polsce obowiązuje układ otwarty, bez recyrkulacji, ze względu np. na gazy anestetyczne, od 1996 r. istnieją tymczasowe wytyczne MZ dotyczące recyrkulacji.

System wentylacji i czystości mikrobiologicznej sali operacyjnej (13,14,15,16,17)

- Dodatkowo ciśnienie powietrza minimum 10-20 Pa, wentylacja w systemie wyporowym z możliwością recyrkulacji (w Polsce bez recyrkulacji !).
- Wprowadzenie jałowego powietrza przez strop nawiewny perforowany, sufit lub nawiewnik sufitowy o powierzchni 9-10 m² ewentualnie anemostat, wyprowadzenie przy podłodze, system konwencjonalny lub wyporowy.
- Ilość powietrza nawiewanego (jałowego) – 2400-3600 m³/h, w tym udział powietrza świeżego 20-30%, wymiana ok. 15-20 razy na godzinę.
- Dolne dodatkowe „higieniczne” kratki wyciągowe dla wychwycenia zawiesiny, kurzu np. z materiałów opatrunkowych (lignina, gaza).
- Temperatura doprowadzanego powietrza 18-24° C, 24-30° C [prof. K. Bielecki, 2001], wilgotność powietrza 40-55%, wzrost wilgotności skutkuje wzrostem liczby drobnoustrojów w powietrzu.
- W układach klimatyzacyjnych zalecane jest tylko nawilżanie parowe, a nie wodne – ze względu na przeżywalność *Legionella pneumophila*!
- Poziom głośności urządzeń klimatyzacyjnych maksymalnie 35 dB (PN), w przypadku stropu nawiewnego typu LAF – 45-50 dB.
- Problem zakażeń inhalacyjnych personelu i/ lub pacjentów przez aerozol krwi, opary spalonych tkanek lub dymy chirurgiczne, np. średnia ekspozycja operatora i/ lub asysty wynosi 1,4-1,8 μg Hb/m³.
- Zastosowanie pionowego przepływu laminarnego (LAF) jałowego powietrza minimalizuje ryzyko ZMO oraz infekcji i intoksykacji przez dymy chirurgiczne (8,9,12).
- Mikrobiologiczne monitorowanie poziomu czystości mikrobiologicznej powietrza środowiska bloku operacyjnego: rutynowe, interwencyjne, audyt lub w ramach dochodzenia epidemiologicznego, np. przy zagrożeniu gronkowcami MRSA/VISA.

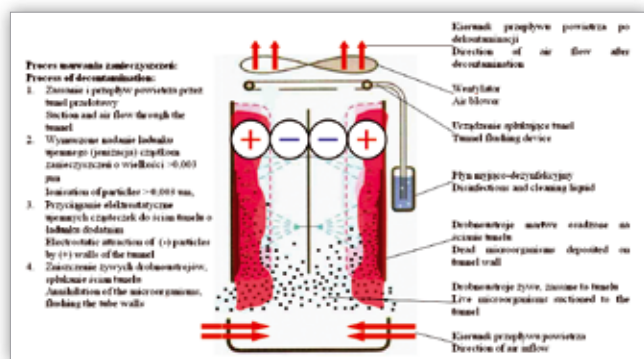
System	cfu/m ³
Konwencjonalny: Conventional:	
skośny, oblique	100 – 200
sufitowy, ceiling	40 – 80
Allandera	30 – 50
Allo-Pro	20 – 30
Inne, others	30 – 50
Wyporowy, laminarny (LAF): Laminar air flow:	
poziomy, horizontal	20
pionowy **, vertical	1
naturalny, grawitacyjny lub wentylacyjny bez dekontaminacji gravitational or ventilation without decontamination	1000 – 5000

Tab. II. Liczba drobnoustrojów* w „polu operacyjnym” dla różnych systemów rozdziału powietrza w sali operacyjnej.

Tab. II. Number of microbes in surgical field for different air circulation systems in the operating theatre.

* wg Schmidt, HLH, 1997

** WHO, CEN- EN, Berlin Instytut Kocha, 2000



Ryc. 3. Schemat procesu usuwania zanieczyszczeń drobnoustrojowych z powietrza metodą MFI, niszczenia i osadzania ich na ściankach tunelu urządzenia.

Fig. 3. Schematic diagram of microbial decontamination of the air with MFI technique. Deposition and microorganisms annihilation in the tube of the instrument.

Nowa technologia MFI (Multifunction Ion Air Cleaning) dekontaminacji drobnoustrojów z powietrza (18,19,20)

W technologii MFI wykorzystano współdziałanie procesów jonizacji i przyciągania elektrostatycznego cząstek $> 0,003 \mu\text{m}$, czyli także komórek bakterii, grzybów i części wirusów za pomocą urządzenia Nanobio E 310 (Genano) o wydajności ok. $250 \text{ m}^3/\text{godz}$. (ryc. 3) (18,19,20).

Czystość mikrobiologiczna powietrza po przejściu przez proces oczyszczania metodą MFI utrzymuje się na poziomie $\leq 1 \text{ cfu}/\text{m}^3$ i odpowiada najwyższej klasie czystości ustalonej dla powietrza bloku operacyjnego (tab. I). Technologia MFI może współpracować z różnorodnymi i dotychczas stosowanymi systemami nawiewu jałowego powietrza, np. dla sali operacyjnej i pooperacyjnej lub nawiewu miejscowego dla pacjenta czy stanowiska laboratoryjnego. Zalety metody MFI: jakość dekontaminacji na poziomie $\leq 1 \text{ cfu}/\text{m}^3$, brak konieczności wymiany filtrów, brak wpływu procesu na wilgotność i temperaturę powietrza, brak problemu *Legionella pneumophila*, możliwość aplikacji metody MFI do różnych urządzeń i pomieszczeń z nawiewem typu LAF dla pracy aseptycznej (15,19,20).

Maski dla górnych dróg oddechowych (11,15,23,24,25)

- W Polsce brakuje wymagań skuteczności zatrzymywania drobnoustrojów przez maski.
- Maski chirurgiczne, nawet podwójne lub potrójne, zatrzymują tylko część cząstek $> 20 \mu\text{m}$.
- Według wymagań OSHA (Occupational Safety and Health Administration) – organu zajmującego się bezpieczeństwem i higieną pracy w USA z 1996 r. oraz CDC (Atlanta) winny to być respiratory osobiste, wyprofilowane, ściśle przylegające do twarzy, testowane na szczelność przylegania, obejmujące nos i usta. Oznakowanie literami N, P, R. OSHA rekomenduje typ N o skuteczności filtrów HEPA usuwania cząstek $\geq 0,3 \mu\text{m}$ w 99,97%. Typ P – 99% oraz typ R – 9,5%.
- Maski ochronne 3M typu FFP3 z zaworem wydechowym, efektywność do 98% w czasie 6 godzin użytkowania, zatrzymują bioaerozol drobnoustrojów, krwi, drobin kostnych i częściowo dymy chirurgiczne powstałe np. przy zastosowaniu lasera, wg normy EN 149-2001.

- Maską twarzową bójczą T-3000™, zawierającą wielowarstwowy wkład filtracyjno-bójczy przechwytyje oraz zabija wirusy, bakterie i grzyby na poziomie $\geq 99,99\%$ w czasie do 24 godzin. Wkładem bójczym jest jodowany polimer na bazie syntetycznej żywicy Triosyn T50 uzupełniony o warstwę węgla aktywnego. Powłoki wewnętrzna i zewnętrzna utrzymują wodoodporność.
- Nawiew laminarny (LAF) pionowy powietrza po dekontaminacji z prędkością $V=2,5-0,5 \text{ m/s}$ zdecydowanie minimalizuje zagrożenie ZMO, jak i zagrożenie infekcyjne i toksyczne składnikami dymu chirurgicznego np. po zastosowaniu lasera.

Metody oceny stopnia zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza (monitoring) (25,26,27)

- Metody tradycyjne, np. osadzenie (sedymentacja) na podłożu agarowe w płytce Petriego, metoda półilościowa obarczona błędami.
- Metody filtracyjne polegające na przepuszczeniu określonej objętości powietrza przez suche filtry lub płuczki (metoda syfonizacji), które zatrzymują drobnoustroje, warunek: zatrzymywalność w teście z *Bacillus subtilis v. niger* w 99,999% przy przepływie $0,25 \text{ m/s}$. Po inkubacji i liczeniu kolonii otrzymujemy wyniki w cfu/m^3 powietrza.
- Metoda zderzeniowa zasysanego powietrza o podłożu stałe w płytce Petriego lub z użyciem 4-6 płytek (metoda Andersena). Pomiar przepływu powietrza np. $100-1000 \text{ l min}$ wyników ilościowy w cfu/m^3 powietrza.
- Metody elektroprecypitacji i metody molekularne.

Podsumowanie

Reasumując, chcemy przedstawić minimalne wymagania dotyczące czystości mikrobiologicznej bioaerozolu powietrza sali operacyjnej przeznaczonej do przeprowadzania procedur aseptycznych, w tym wewnątrzgałkowych operacji okulistycznych. Są one następujące:

1. Spełnienie warunków architektonicznych wg Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 10 listopada 2006 (Dz. U. Nr. 213 z 2006).
2. Zaleceniem praktycznym jest dążenie i utrzymanie czystości mikrobiologicznej nawiewanego powietrza na poziomie $\leq 10 \text{ cfu}/\text{m}^3$, co wymaga nawiewu o czystości $\leq 1 \text{ cfu}/\text{m}^3$ ze skutecznością filtrów 99,999% dla cząstek $\geq 0,3 \mu\text{m}$.
3. Wydaje się, że biorąc pod uwagę polskie realia, w praktyce jako „mikrobiologicznie bezpieczne powietrze” można przyjąć poziom $70 \text{ cfu}/\text{m}^3$ oraz do $200 \text{ cfu}/\text{m}^3$ w trakcie pracy ponad 3 godziny, co wymaga odpowiedniej liczby wymian powietrza na godzinę (15/ godzinę).
4. Wskazane jest zastosowanie systemu wporowego z nawiewnikiem stropowym $3,2 \text{ m} \times 3,2 \text{ m}$ nad stołem operacyjnym, warunkującym pionowy przepływ laminarny powietrza po dekontaminacji, prędkość przepływu minimum $0,25$ do maksimum $0,50 \text{ m/s}$.
5. Zasada nadciśnienia na sali operacyjnej $10-20 \text{ Pa}$ i jednokierunkowości ruchu powietrza po dekontaminacji ze strefy czystej w kierunku śluz $5-10 \text{ Pa}$, następnie myjni i przebierałni – 5 Pa .
6. Monitoring mikrobiologiczny czystości powietrza sali operacyjnej winien dotyczyć liczby drobnoustrojów oraz wykluczenia obecności drobnoustrojów alarmowych (alertowych) w powietrzu (Dz. U. Nr 126 poz. 1384 i Nr 199 poz. 1938, 2003).

Piśmiennictwo:

1. Bulanda M, Cienciała A, Heczko PB i wsp.: *Rekomendacje Polskiego Towarzystwa Zakażeń Szpitalnych dotyczące zapobiegania zakażeniom miejsca operowanego (ZMO)*. Zakażenia 2002, 3-4: 5-17.
2. Heczko PB, Jawień M, Siewierska M: *Nowe rodzaje zakażeń szpitalnych*. Zakażenia 2003, 1, 106-110.
3. Gawrońska M, Majer A, Kałużny J: *Zapalenie wnętrza gałki ocznej jako powikłanie po operacji zaćmy*. Okulistyka 2006, 9, 22-25.
4. Nichamin LD, Chang DF, Johnson SA, et al.: *What is the association between clear corneal cataract incision and postoperative endophthalmitis?* J Cat Refr Surg 2006, 32, 1556-1559.
5. Scott IU, Flynn HW, Feller W: *Endophthalmitis after secondary intraocular lens implantation*. Ophthalmology 1995, 102, 1925-1931.
6. Leid JG, Costerton JW, Shirtliff ME, et al.: *Immunology of Staphylococcal biofilms infections in the eye tools to study biofilms endophthalmitis*. DNA Cell Biol 2002, 21, 405-413.
7. Speaker A, Milck F, Shah M, et al.: *Role of external bacterial flora in pathogenesis of acute postoperative endophthalmitis*. Ophthalmology 1991, 98, 373-378.
8. Muszyński Z: *Dym chirurgiczny, smog (bioaerazol) – zagrożenie toksyczne i infekcyjne*. Materiały Zjazdu: XIII Zjazd PTZSz i XVI Sympozjum TChP, Krynica maj 2006, referat, poster P-28 i streszczenie str. 61.
9. American society of heating, refrigerating and air – conditioning engineers, inc. 1999, (w:) ASHRAE Handbook, Heating, Ventilation and Air-Conditioning Applications, Chapter 13, 1999.
10. Hambraeus H: *Aerobiology in the operating room a review*. J Hosp Infect 1988, 12, 4, 68-76.
11. Ayliffe GAJ, Lowbury EJJ et al: *Control of hospital infection*. A practical handbook, Chapman-Hall Med., London-New York 1999.
12. Baird RM, Hodges NA, Denyer SP (eds.): *Handbook of microbiological quality control pharmaceutical and medical devices*. Taylor and Francis, New York – London 2000.
13. Nichols RL: *The operating room*. (w:) Bennett J, Brachman P (eds), Hospital Infections, Brown and Co. Boston, 1992, 461-473.
14. Krzysztofik B: *Mikroflora powietrza*. Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1992.
15. Muszyński Z: *Bioaerazol powietrza sali operacyjnej – możliwości dekontaminacji i ograniczenia zakażeń*. Zakażenia 2005, 3, 70-74.
16. Roy MC: *The operating theater: a special environmental area*. (w:) Wenzel R.P. (ed.), Prevention and Control of Nosocomial Infections, 3-rd ed. Baltimore, Williams and Wilkins 1997, 515-538.
17. Porowski M, Szczechowiak E: *Klimatyzacja pomieszczeń czystych*. Termedia, Poznań 1999.
18. Weikko Ilmasti Genano Oy, Wannta, Finlandia (dane niepublikowane).
19. Muszyński Z, Mirska I: *Nowa technologia dekontaminacji drobno-ustrojów z powietrza – metoda MFI*. Zakażenia 2004, 2, 79-82.
20. Muszyński Z, Mirska I: *New way of microbe decontamination from air – MFI metod*. Clin Microbiol Infect 2004, 10, 3, 431.
21. Gondek S: *Znaczenie pylenia w powikłaniach i zakażeniach na bloku operacyjnym*. Zakażenia 2007, 1, 107-108.
22. Muszyński Z: *Urządzenia i pomieszczenia do pracy aseptycznej*. Farm Pol 1969, 8, 611-619.
23. Muszyński Z: *Niektóre zasady ochrony pracowników medycznych przed zawodowym zagrożeniem infekcyjnym*. Zakażenia, 2001, 2, 31-36.
24. Muszyński Z: *Ochrona pracowników opieki zdrowotnej przed zagrożeniem mikrobiologicznym*. Nowiny Lekarskie 2005, 74 supl., 1, 28-29.
25. Groschel DHM: *Air sampling in hospitals*. Ann NY Sci 1988, 1980, 230-240.
26. Fleischer M: *Badania mikrobiologiczne środowiska szpitalnego*. Zakażenia 2003, 1, 18-23.
27. Charkowska A: *Normy czystości powietrza i powierzchni szpitalnych*. Zakażenia 2006, 1, 76-78.

Praca wpłynęła do Redakcji 04.09.2007 r. (989)
Zakwalifikowano do druku 12.12.2007 r.

Adres do korespondencji (reprint requests to):
prof. dr hab. n. med. Józef Kałużny
Katedra i Klinika Okulistyczna Akademii Medycznej
w Bydgoszczy
ul. Marii Skłodowskiej-Curie 9
85-094 Bydgoszcz