CZYSTE POWIETRZE W SALACH OPERACYJNYCH

materiały szkoleniowe
dla pielęgniarek epidemiologicznych

ZESZYT IV

Opracował Zespół w składzie: Dorota Gregorowicz – Warpas
Anna Pałubicka
Andrzej Wolski
Krzysztof Kaiser

Wrocław 2005

Autorzy opracowania, pracownicy Szpitala Specjalistycznego w Kościerzynie, podjęli próbę przedstawienia interdyscyplinarnych zagadnień związanych z jakością powietrza na bloku operacyjnym. Nieunikniona i konieczna jest w tym przypadku współpraca specjalistów z wielu pozornie niezwiązanych ze sobą dziedzin nauki, takich jak: technika, mikrobiologia i epidemiologia.

Dorota Gregorowicz – Warpas – Asystent Dyrektora ds. Higieny i Epidemiologii, specjalista z pielęgniarstwa epidemiologicznego

Anna Pałubicka – Starszy Asystent Zakładu Diagnostyki Mikrobiologicznej, specjalista II° z mikrobiologii

Andrzej Wolski – Kierownik Centrum Nadzoru Urządzeń i Sieci Technologicznych, programista systemów nadzoru instalacji technologicznych szpitali

Krzysztof Kaiser – Starszy Specjalista ds. Urządzeń i Sieci Technologicznych, specjalista w zakresie eksploatacji szpitalnych instalacji technologicznych

Spis treści

1. Wstęp

2. W jaki sposób redukuje się stężenie zanieczyszczeń powietrza w salach operacyjnych? 1
   2.1 Źródła zanieczyszczeń mikrobiologicznych i sposoby ograniczenia ich emisji 1
   2.2 Środki techniczne umożliwiające redukcję stężenia zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza 1
      2.2.1 Doprowadzenie dużej ilości sterylnego powietrza – podstawową metodą umożliwiającą obniżenie stężenia zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu 1
      2.2.2 Jak system rozdziału powietrza w pomieszczeniu wpływa na jego czystość mikrobiologiczną? 1
      2.2.3 Dlaczego nawiew laminarny powoduje wielokrotne obniżenie stężenia zanieczyszczeń powietrza w obszarze jego oddziaływania? 1
      2.2.4 W jaki sposób ogranicza się przenikanie zanieczyszczonego powietrza z sąsiednich pomieszczeń do sal operacyjnych? 1
      2.2.5 W jaki sposób przygotowuje się sterylne powietrze dla sal bloku operacyjnego? 1
      2.2.6 Jaki jest wpływ lamp bakteriobójczych UV-C na czystość mikrobiologiczną powietrza? 1
      2.2.7 Zalecenia eksploatacyjne 1

3. Klasy czystości powietrza pomieszczeń szpitalnych 1

4. Jaki jest wpływ czystości mikrobiologicznej powietrza na ryzyko infekcji? 1

5. Czym można zainfekować pacjenta? 1

6. Czy w salach operacyjnych można wykonać w pełni wiarygodne pomiary czystości mikrobiologicznej powietrza? 1
   6.1 Metody pomiarowe 1
   6.2 Procedury pomiarowe 1
   6.3 Błędy pomiarowe 1
   6.4 Parametry, które powinno się rejestrować podczas wykonywania badań czystości mikrobiologicznej powietrza 1
   6.5 Częstotliwość wykonywania pomiarów 1
   6.6 Procedury nadzoru czystości mikrobiologicznej sali operacyjnej 1
   6.7 Od teorii do praktyki. Przykład nadzoru jakości powietrza w salach operacyjnych w Szpitalu Specjalistycznym w Kościerzynie 1
7. Edukacja personelu technicznego i medycznego szpitali
8. „Na nic nie ma pieniędzy”
9. Literatura

1. Wstęp

Pierwsze wzmianki o możliwości przenoszenia zakażeń przez powietrze pojawiały się już w czasach antycznych.
„Gdy powietrze jest zainfekowane zanieczyszczeniami wrogimi dla rasy ludzkiej, człowiek staje się chory". Tak pisał ojciec medycyny Hipokrates żyjący w V-IV wieku przed Chrystusem w swoim znakomitym dziele „Corpus Hippocraticum".
Wielkie epidemie wiązano już od niepamiętnych czasów z tzw. morowym powietrzem. W kronikach Długosza odnajdujemy wzmianki o morowym powietrzu panującym w Polsce w 1003 r. „Od powietrza, głodu, ognia i wojny zachowaj nas Panie". W tym XVII wiecznym fragmencie suplikacji odnajdujemy wielki lęk przed „czarną śmiercią" przychodzącą z zainfekowanym powietrzem.

Świadomość przenoszenia chorób m. in. przez zainfekowane powietrze nie szła w parze z praktyczną umiejętnością zapobiegania infekcjom. W szczególności uwidaczniało się to w szpitalach. Zabiegi operacyjne przeprowadzano bez przestrzegania podstawowych zasad higieny bardzo często bezpośrednio na łóżku pacjenta, ponieważ nie wszystkie szpitale miały wydzieloną do tego celu salę - dzisiaj nazywaną operacyjną.

Rys. 1 Główna sala operacyjna, Mercy Hospital, około1915 r. [26]

Odzież ochronną, którą były fartuchy chirurdzy używali bardzo często po to, aby osłonić swoje prywatne ubranie. Podobnie było z higieną rąk, myto je aby usunąć krew czy inny materiał, ale nie stanowiło to wymogu przygotowania do zabiegu. Śmiertelność pacjentów w tym czasie, a był to już XIX wiek, dochodziła do 75%. Musiały nastąpić

zmiany. Jednym z pierwszych uczonych , który podjął walkę z zakażeniami był Ignaz Philipp Semmelweis (1818 – 1865) węgierski ginekolog – położnik, który za przyczynę zakażeń uznał powietrze szpitalne a później „jad trupi" przenoszony z prosektorium niemytymi rękami studentów i lekarzy badających położnice [3]. Wprowadził mycie rąk w wodzie chlorowanej przed badaniem pacjentek, przez co udało mu się zmniejszyć niemal pięciokrotnie % śmiertelności przy ogólnym wzroście liczby porodów. Teorię I.F. Semmelweisa kontynuował angielski chirurg Joseph Lister (1827 – 1912), który odkrył gronkowce i paciorkowce, przypisując im przyczynę ropienia ran. Środkiem zaradczym miało być rozpylanie kwasu karbolowego do wyjaławiania narzędzi, do dezynfekcji skóry pacjenta przed zabiegiem i do mycia rąk. Kwas karbolowy rozpylany w sali operacyjnej miał oczyścić powietrze, niestety ze względu na swoją wysoką toksyczność stawał się coraz bardziej niebezpieczny. J. Lister stworzył podstawy działań mających na celu walkę z zakażeniami, czyli podstawy antyseptyki, które otworzyły drogę do rozwoju aseptyki czyli postępowania mającego na celu niedopuszczenie do zakażenia. Dopiero niemiecki chirurg Ernst Bergmann (1836 – 1907) w praktyce zastosował zasady aseptyki. Ze swoim uczniem Kurtem Schimmelbuschem (1860 – 1907) wprowadzili urządzenia i opakowania (puszki) niezbędne do przeprowadzenia sterylizacji i przechowywania narzędzi po wyjałowieniu. Z biegiem czasu uczeni bardziej szczegółowo badali wpływ środowiska sali operacyjnej na ryzyko wystąpienia powikłań i doskonalili już wprowadzone działania zapobiegawcze. Do tych znanych postaci z pewnością należy zaliczyć Jana Mikulicza – Radeckiego (1850 - 1905), który zastosował do zabiegu wyjałowioną odzież ochronną w postaci maski okrywającej twarz, rękawiczek bawełnianych i fartucha. Dwa lata później William Steward Halsted (1852 – 1922) zastosował rękawiczki gumowe. Dopiero w 1952 r William Beck wprowadził ubranie operacyjne i obłożenie pola operacyjnego wykonane ze ścisłej tkaniny bawełnianej.

Współczesne badania dotyczące etiologii chorób i zakażeń doprowadziły do znacznego poszerzenia wiedzy o przyczynach ich powstawania, drogach rozprzestrzeniania i sposobach zmniejszania infekcji.

Szybko rozwijająca się medycyna współczesna uwolniła nas od lęku przed „czarną śmiercią". Szczególne znaczenie mają tu osiągnięcia epidemiologii i antybiotykoterapii.

Dzisiaj możliwość zakażenia nie budzi już takiej grozy chociaż nie znaczy to, że zagrożenia odeszły w niepamięć. Ryzyko zakażenia istnieje nadal, szczególnie w oddziałach zabiegowych szpitali. Mimo ciągłego doskonalenia zasad aseptyki i antyseptyki, stanowiących o sukcesach współczesnej chirurgii, nadal występuje stare w gruncie rzeczy zjawisko, ale w specyficznej uwspółcześnionej postaci, tzw. zakażeń szpitalnych (wg nowej nomenklatury zakładowe) [7]. W szpitalach wprowadzono procedury i technologie znacznie ograniczające ryzyko infekcji szczególnie w salach operacyjnych, gdzie ryzyko to jest największe. Jednym z istotnych czynników zwiększających ryzyko infekcji okazało się zanieczyszczenie mikrobiologiczne powietrza. Efektywne ograniczenie zakażeń przez zainfekowane powietrze okazało się zadaniem trudnym do zrealizowania z uwagi na brak skutecznych metod oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Wprowadzenie lamp bakteriobójczych nie umożliwiało

sterylizacji powietrza podczas zabiegów operacyjnych. Również zastosowanie tzw. lamp przepływowych nie rozwiązało problemu. Dopiero nowoczesne systemy klimatyzacji – wentylacji o dużej wydajności, wytwarzające strumień sterylnego powietrza wypierający powietrze zanieczyszczone umożliwiły skuteczne zredukowanie ryzyka zakażenia drogą powietrzną.

2. W jaki sposób redukuje się stężenie zanieczyszczeń powietrza w salach operacyjnych?

Czyste powietrze w salach operacyjnych jest jednym z elementów bezpieczeństwa zdrowotnego pacjenta przebywającego na sali operacyjnej. Aby efektywnie zmniejszyć ryzyko zakażenia powietrze w wysokoaseptycznych salach operacyjnych powinno mieć nawet kilkaset razy mniejsze stężenie zanieczyszczeń mikrobiologicznych jak powietrze zewnętrzne lub powietrze w pomieszczeniach mieszkalnych. Z uwagi na tak duże wymogi jakościowe sale operacyjne muszą być wyposażone w specjalistyczne instalacje klimatyzacji - wentylacji dostarczające duże ilości powietrza sterylnego. Konieczne jest również ograniczenie emisji zanieczyszczeń z wielu możliwych źródeł.

2.1 Źródła zanieczyszczeń mikrobiologicznych i sposoby ograniczenia ich emisji

Uzyskanie wymaganej czystości powietrza w sali operacyjnej nie jest możliwe bez radykalnego ograniczenia emisji zanieczyszczeń ze źródeł wewnętrznych i zewnętrznych.

Do źródeł zanieczyszczeń wewnętrznych należą:

- personel medyczny,
- pacjenci,
- narzędzia, aparatura medyczna i wyposażenie sali,
- zanieczyszczenia pyłowe na posadzce, ścianach i suficie sali operacyjnej ulegające wtórnej emisji na skutek aktywności personelu oraz ruchu powietrza w pomieszczeniu.

Do źródeł zanieczyszczeń zewnętrznych zalicza się:

- niedostatecznie oczyszczone powietrze, wpływające do pomieszczenia przez instalacje klimatyzacyjne,
- powietrze wpływające do pomieszczenia w sposób niezorganizowany z pomieszczeń o niższej klasie czystości np. przez nieszczelności stolarki drzwiowej,
- powietrze wpływające przez nieszczelności stolarki okiennej (obecnie nie projektuje się okien w salach operacyjnych).

W prawidłowo zaprojektowanej i eksploatowanej sali operacyjnej podstawowym źródłem zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza są przebywający tam ludzie. Osoby przebywające w sali operacyjnej emitują bardzo dużą ilość zanieczyszczeń

mikrobiologicznych (tab.1), które w sposób ciągły są usuwane przez system klimatyzacji - wentylacji.

Na wielkość tej emisji duży wpływ mają następujące czynniki:

- ilość i aktywność personelu w sali operacyjnej,
- środki ochrony zastosowane przez personel,
- rodzaj i faza operacji.

Tab. 1 Emisja mikroorganizmów przez osobę należącą do zespołu chirurgicznego [1]

Rodzaj odzieży	Aktywność fizyczna	Emisja [JTK/min.]
Luźny fartuch chirurgiczny	duża	50 000
Luźny fartuch chirurgiczny	mała	7 000
Dopasowany fartuch chirurgiczny	duża	3 200
Dopasowany fartuch chirurgiczny	mała	1 500

JTK - jednostki tworzące kolonie

Ilość osób biorących bezpośredni udział w zabiegach operacyjnych należy ograniczać do minimum. Personel nie powinien wykonywać gwałtownych ruchów, ponieważ zwiększona aktywność fizyczna powoduje wielokrotny wzrost emisji zanieczyszczeń. Zespół operacyjny powinien poruszać się w sali w sposób możliwie zorganizowany, aby nie powodować zaburzeń przepływu powietrza, co prowadzi do zwiększenia liczby zanieczyszczeń bezpośrednio w polu operacyjnym. Wchodzenie i wychodzenie z sali operacyjnej podczas zabiegów powinno być ograniczone do niezbędnego minimum.

Personel jest głównym źródłem drobnoustrojów obecnych w sali operacyjnej. Niestosowanie się do zasad reżimu sanitarnego może w konsekwencji prowadzić do zwiększenia liczby zakażeń (rys.2).

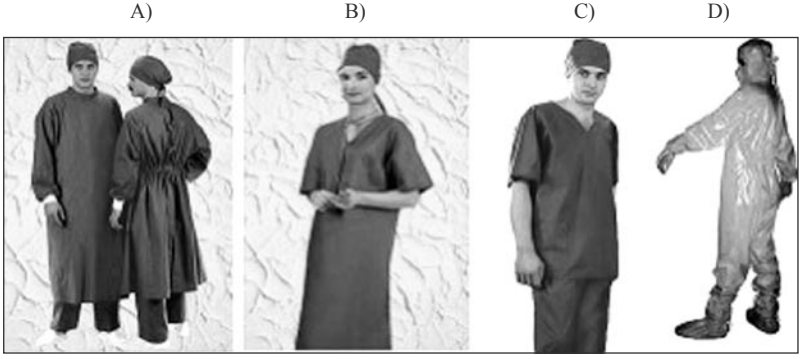
Rys. 2 Przykład niewłaściwego założenia maski chirurgicznej przez personel podczas operacji. Emisję zanieczyszczeń potęguje niedbale założony ubiór ochronny.

Zespół sali operacyjnej powinien być wyposażony w [6]:

- fartuchy – powinny być jałowe, używane tylko do pracy w sali operacyjnej, nie krępujące ruchów, odporne na przemoczenie, a jednocześnie przepuszczające powietrze, wykonane najlepiej z materiałów takich jak np. Gore-Tex;
- rękawiczki – jałowe, chronią personel przed skażeniem krwią i wydzielinami pacjenta, natomiast pacjenta przed drobnoustrojami pochodzącymi z rąk zespołu operacyjnego. Rękawice powinny być wytrzymałe i hipoalergiczne;
- maski – jednorazowe do każdego zabiegu, chronią pole operacyjne przed drobnoustrojami pochodzącymi z dróg oddechowych personelu; powinny być dopasowane do twarzy i założone tak, aby osłaniały nos, usta i brodę. Nie jest dopuszczalne, aby ta sama maska była zdejmowana i ponownie zakładana. Ponieważ zdolność filtracji maski jest ograniczona należy ja zmieniać w przypadku przemoczenia, dłuższej operacji i bezwzględnie po każdym zabiegu operacyjnym [3];
- okulary ochronne lub osłony chronią błony śluzowe przed kontaktem z materiałem potencjalnie zakaźnym;
- czapki – jednorazowe, zapobiegają uwalnianiu się drobnoustrojów z owłosionej skóry głowy; powinny być bezwzględnie założone w sposób pozwalający na całkowite osłonięcie włosów;
- obuwie – powinno być antypoślizgowe, stabilne i wygodne takie, które można wielokrotnie poddawać dezynfekcji termiczo-chemicznej.
  Niedozwolone jest noszenie prywatnego obuwia w obrębie bloku operacyjnego, jak również opuszczanie tego miejsca w obuwiu operacyjnym [3].

Odzież ochronna ogranicza uwalnianie się drobnoustrojów z powierzchni skóry, ponadto zapobiega bezpośrednim kontaktom pomiędzy personelem i pacjentem. Chroni nie tylko pacjenta, ale również personel przed kontaktem z krwią i płynami ustrojowymi pacjenta.

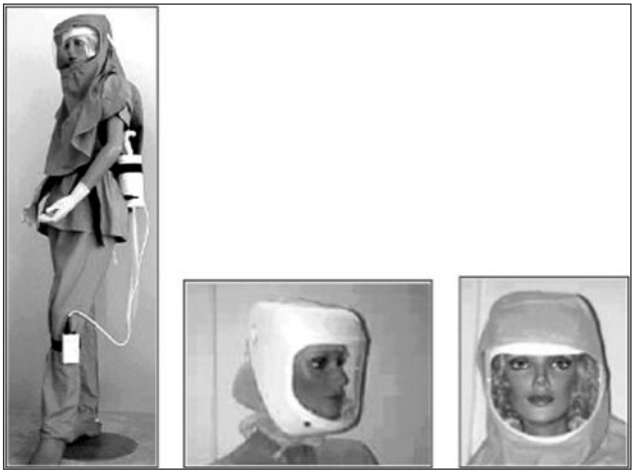
Na rys. 3 przedstawiono przykłady obecnie noszonego ubrania przez personel na salach operacyjnych. Najczęściej są to stroje bawełniane, jednak czasami stosuje się także kombinezony jak na rys. 3d. Częściej spotyka się je w działach sterylizacji, jako odzież ochronną.



Rys. 3 Współcześnie noszone ubrania w salach operacyjnych [24]: a), c) - fartuchy i czapki męskie, b) - strój damski, d) - kombinezon specjalny

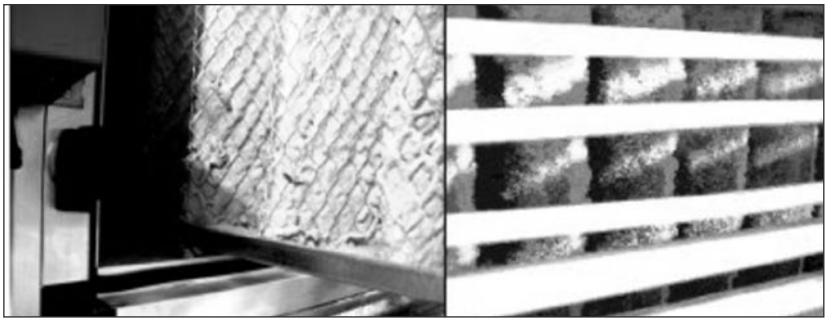
Zastosowanie nowoczesnego ubrania (kombinezonów) przez personel może znacząco zmniejszyć ilość zanieczyszczeń wewnątrz sali operacyjnej. Typ odzieży, rodzaj materiału, z którego została wykonana oraz jej szczelność ma znaczący wpływ na emisję z powierzchni skóry, martwego naskórka, czy mikroorganizmów. W produkcji takiej odzieży w krajach zachodnich zastosowanie znalazły tzw. materiały barierowe. Umożliwiają one odprowadzanie ciepła i wilgoci wytwarzanej przez człowieka przy jednoczesnej ochronie przed przesiąkaniem krwi i płynów ustrojowych oraz przenoszonych przez nie drobnoustrojów. Nowoczesny kombinezon z maską zakrywającą całą twarz, dodatkowo wentylowaną (urządzenie przy pasku) przedstawiono na rys. 4. Dzięki takiemu rozwiązaniu chirurg nie musi zakładać okularów ochronnych, a wentylacja zapewnia mu poczucie komfortu. Natomiast pacjent zabezpieczony jest przed emisją mikroorganizmów z dróg oddechowych personelu.

Obecnie w naszych szpitalach stosuje się takie kryteria oceny odzieży jak: estetyczne wykonanie, mocne tkaniny i szwy odporne na działanie chloru i zabiegi sterylizacji, nie odbarwianie się i nie kurczenie podczas częstego prania, dobra przepuszczalność powietrza, duży komfort w użytkowaniu**.** Rzadko wspomina się o funkcji barierowej. Natomiast wśród pożądanych cech nie wymienia się niskiej emisji zanieczyszczeń pyłowych. Niestety stosowana w polskich szpitalach odzież ochronna cechuje się dużą emisją pyłów, pomimo posiadania certyfikatów na zgodność z polskimi normami i certyfikatów PZH. Ilość włókien i pyłków emitowanych przez złej jakości odzież ochronną bywa tak duża, że zanieczyszczenia te mogą w krótkim czasie skutecznie zapchać filtry systemu klimatyzacji oraz zabrudzić instalację. Na zanieczyszczenia te szczególnie narażone są bardziej skomplikowane instalacje z recyrkulacją powietrza lub odzyskiem ciepła.



Rys. 4 Nowoczesne kombinezony chirurgiczne [23]

Pył emitowany z ubrań jest dobrym nośnikiem zanieczyszczeń mikrobiologicznych i może osiadać w obszarze pola operacyjnego, co stanowi dodatkowe zagrożenie dla pacjenta. Na rys. 5 przedstawiono filtr zanieczyszczony pyłami pochodzącymi z odzieży ochronnej oraz ten sam pył na kratkach wyciągowych układu wentylacyjnego. Można go również odnaleźć w miejscach trudnodostępnych elementów wyposażenia stałego sali operacyjnej, szczególnie we wszystkich zagłębieniach i rowkach np. taboretów, aparatury.



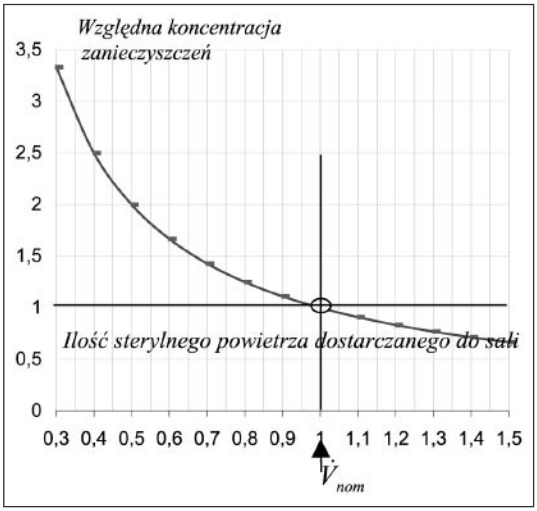
Rys. 5 Pyły emitowane z odzieży ochronnej personelu medycznego osadzające się na filtrach systemu wentylacji i elementach kratek wyciągowych - Szpital Specjalistyczny w Kościerzynie [10, 20, 29, 30]

2.2 Środki techniczne umożliwiające redukcję stężenia zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza

2.2.1 Doprowadzenie dużej ilości sterylnego powietrza – podstawową metodą umożliwiającą obniżenie stężenia zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu

Podstawową metodą poprawienia czystości mikrobiologicznej i pyłowej powietrza jest doprowadzenie dużej ilości sterylnego powietrza w celu rozcieńczenia i wyprowadzenia zanieczyszczeń uwalnianych w pomieszczeniu (rys. 6).

Ilość dostarczanego powietrza podaje się często jako ilość (krotność) wymian, która określa ile razy w ciągu godziny dostarczana jest ilość powietrza równa kubaturze pomieszczenia. Dla sal operacyjnych projektuje się od 15 do 50 i więcej wymian w zależności od przeznaczenia sali i związanego z tym standardu czystości mikrobiologicznej.



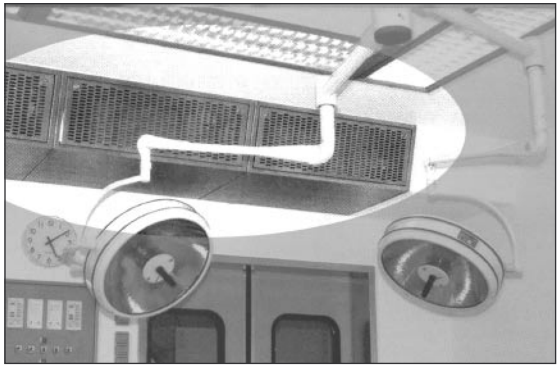
Rys. 6 Wpływ ilości sterylnego powietrza dostarczanego do sali operacyjnej na średnie stężenie zanieczyszczeń w pomieszczeniu [20]

2.2.2 Jak system rozdziału powietrza w pomieszczeniu wpływa na jego czystość mikrobiologiczną?

Wybierając optymalny system rozdziału powietrza w pomieszczeniu można wielokrotnie poprawić czystość mikrobiologiczną powietrza w wybranym obszarze przy zachowaniu niezmienionej wartości średniego stężenia zanieczyszczeń w pomieszczeniu i niezmienionych związanych z tym kosztach energii elektrycznej, cieplnej i chłodniczej. W dużym uproszczeniu można powiedzieć, że efekt ten uzyskuje się kierując strumień sterylnego powietrza w kierunku chronionego obszaru. Najlepsze efekty uzyskuje się wtedy, gdy przepływ powietrza w obszarze chronionym ma charakter laminarny.
W literaturze [1, 2, 13, 17] omówiono szereg rozwiązań systemu rozdziału powietrza. Obecnie w salach operacyjnych stosuje się nawiewniki wytwarzające przepływ burzliwy-mieszający powietrza, wśród których można wymienić: nawiewniki ścienne (rys. 7), sufitowe (rys. 8) i nawiewniki skośne (rys. 9). W nowszych instalacjach stosuje się nawiewy wytwarzające przepływ laminarny. Najlepszy efekt usuwania zanieczyszczeń powietrza uzyskuje się przy pomocy nawiewów wytwarzających pionowy przepływ laminarny nad polem operacyjnym, tzw. stropów laminarnych (rys. 10 i 11). Ze względów ekonomicznych ogranicza się obszar przepływu laminarnego do strefy centralnej sali operacyjnej, w której potrzebna jest bardzo wysoka czystość mikrobiologiczna powietrza. W pozostałym obszarze przepływ jest burzliwy. W przypadkach szczególnych, gdy wymagany jest najwyższy poziom czystości, w salach operacyjnych ultraczystych instaluje się kabiny operacyjne z przepływem laminarnym (rys.12) lub nawiewy laminarne na całej powierzchni sufitu sali operacyjnej.

Rys. 7 Sala zabiegowa pomocy doraźnej w Szpitalu Specjalistycznym w Kościerzynie. Nawiewniki ścienne są stosowane w salach operacyjnych lub zabiegowych o niższej klasie czystości mikrobiologicznej powietrza. W salach tego typu z trudem można uzyskać podczas zabiegów poziom zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza ok. 300 JTK/m^3. Poziom ten jest osiągalny przy zachowaniu sterylności instalacji nawiewnej. W praktyce często jest to nieosiągalne. Szczególnie dotyczy to przypadków, w których filtry absolutne znajdują się w kanałach nawiewnych, a nie w samych nawiewnikach [20].

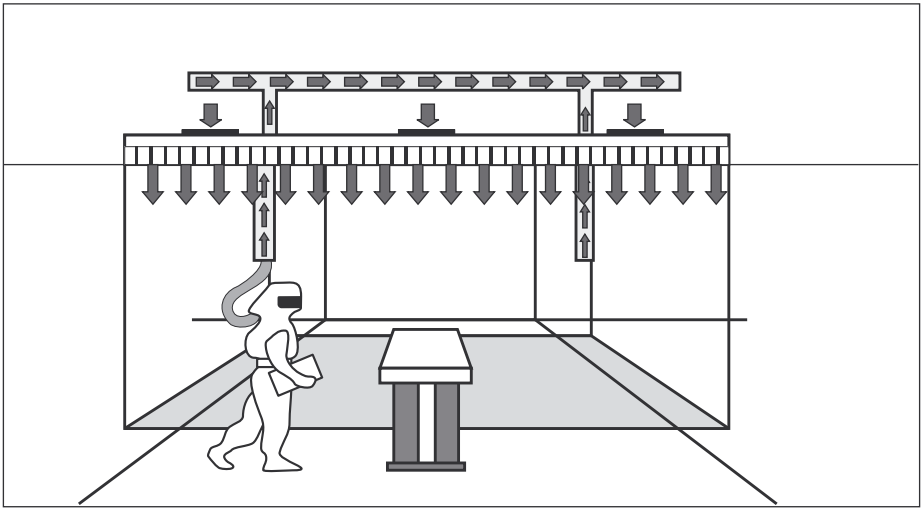
Rys. 8 Sala przygotowania pacjenta w bloku operacyjnym w Szpitalu Specjalistycznym w Kościerzynie. Nawiewniki sufitowe umożliwiają uzyskanie podobnych poziomów czystości mikrobiologicznej jak w przypadku nawiewników ściennych. W tym konkretnym przypadku filtry absolutne znajdują się bezpośrednio pod kratkami nawiewnymi, co znacznie zmniejsza ryzyko emisji mikroorganizmów rozwijających się w instalacji [20].



Rys. 9 Nawiewniki skośne wyposażone w filtry absolutne kierują strumień sterylnego powietrza w okolice pola operacyjnego podnosząc przez to czystość mikrobiologiczną powietrza w obszarze operacyjnym. Jednak wzrost czystości powietrza w chronionym obszarze jest tu znacznie mniejszy jak w przypadku stropów laminarnych z uwagi na znaczne turbulencje i mieszanie powietrza czystego z zanieczyszczonym. W salach operacyjnych wyposażonych w nawiewniki skośne uzyskuje się poziom zanieczyszczeń mikrobiologicznych 150-250 JTK/m^3 [20].

Rys. 10 Sala operacyjna Szpitala Specjalistycznego w Kościerzynie. Zastosowany tu strop laminarny OPL 2,4/2,4 systemu Weiss umożliwia uzyskanie poziomu zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza w obszarze chronionym ok. 10 JTK/m^3 [20, 29].

Rys. 11 Strop laminarny z osłonami bocznymi zmniejszającymi zjawisko turbulencji i mieszania powietrza sterylnego z zanieczyszczonym na obrzeżach strumienia laminarnego [27].



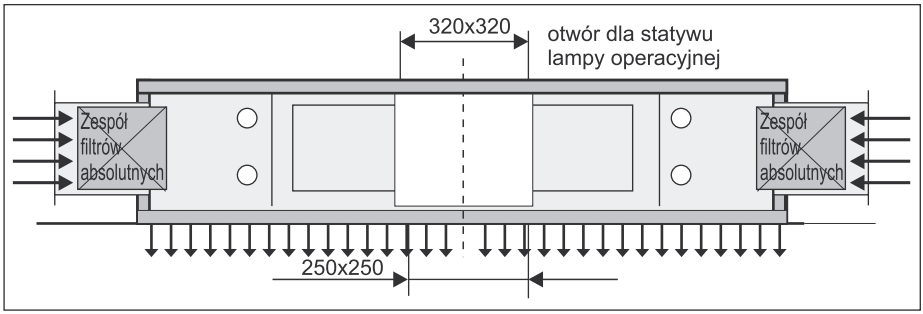
Rys. 12 W salach operacyjnych ultraczystych stosuje się kabiny operacyjne z nawiewem laminarnym. Personel medyczny ubrany jest w kombinezony operacyjne podłączone do systemu wentylacji, który zapewnia dopływ świeżego powietrza do kombinezonu i odprowadzenie powietrza zanieczyszczonego poza obszar chroniony. W salach tego typu uzyskuje się poziom zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza rzędu 1 JTK/m^3 lub mniejszy. Zastosowanie kabin operacyjnych znacznie zmniejsza koszty eksploatacyjne w stosunku do kosztów jakie ponosi się w przypadku nawiewów laminarnych zainstalowanych na całej powierzchni sufitu sali operacyjnej [20].

2.2.3 Dlaczego nawiew laminarny powoduje wielokrotne obniżenie stężenia zanieczyszczeń powietrza w obszarze jego oddziaływania?

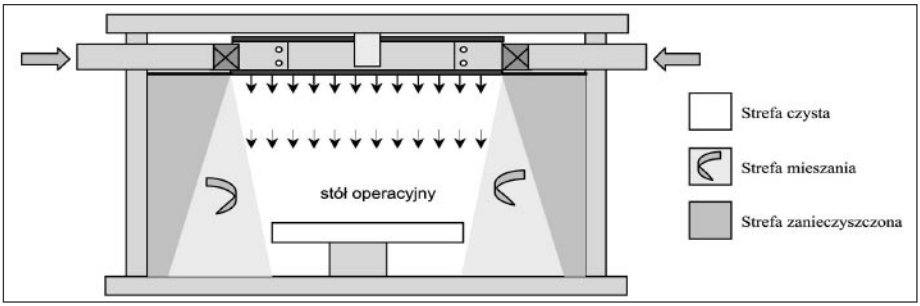
W starszych rozwiązaniach systemów wentylacji sterylne powietrze napływające do sali operacyjnej ulega zmieszaniu z zanieczyszczonym powietrzem znajdującym się wewnątrz na skutek turbulencji powstających w strumieniach nawiewanego powietrza. Proces ten przebiega w sposób ciągły, ponieważ stale podczas zabiegu występuje emisja zanieczyszczeń z różnych źródeł znajdujących się w sali operacyjnej. Z uwagi na to zanieczyszczenia powietrza ulegają tylko rozrzedzeniu.

Nawiew laminarny wywołuje przepływ powietrza pozbawiony turbulencji. W laminarnym strumieniu powietrza nie następuje mieszanie z powietrzem zanieczyszczonym i dzięki temu bardzo czyste powietrze dopływa do pola operacyjnego i wypiera z tego obszaru powietrze zanieczyszczone (rys.13, 14). W przypadku obniżenia ilości dostarczanego powietrza poniżej pewnej krytycznej wartości określonej przez producenta nawiewu, przepływ powietrza staje się burzliwy. Następuje zwiększone mieszanie nawiewanego, sterylnego powietrza z powietrzem zużytym. Może to zwiększyć stężenie zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza w obszarze pola operacyjnego nawet dziesięciokrotnie pomimo tego, że nawiewane powietrze jest sterylne.

Prawidłowe działanie nawiewu laminarnego związane jest ze spełnieniem wielu warunków projektowych i eksploatacyjnych, z którymi należy się zapoznać [1, 17, 20, 21, 22]. Ignorowanie tych warunków prowadzi do zniweczenia wysokiej skuteczności dekontaminacji powietrza w obszarze chronionym.



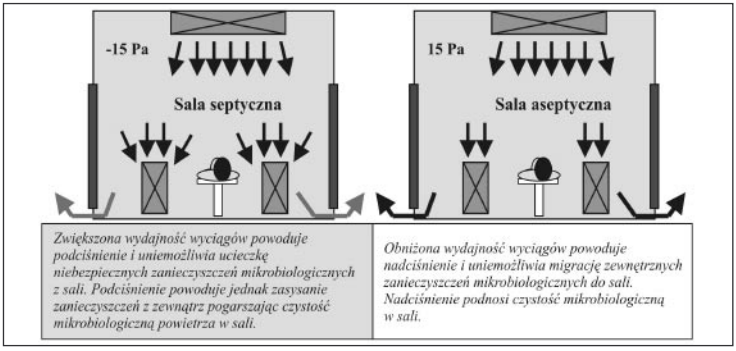
Rys.13 Nawiew laminarny powoduje wytworzenie przepływu powietrza bez turbulencji na skutek przepuszczenia powietrza przez tzw. laminator będący płaską płytą metalową z bardzo duża ilością małych otworów lub specjalną tkaniną. Laminator powoduje to, że wypływające z niego powietrze w każdym punkcie posiada taką samą prędkość i kierunek. Nie dochodzi więc do zawirowań i turbulencji. (Na rysunku przedstawiono strop laminarny OPL 2,4/3,0-8 [20])



Rys. 14 Strop laminarny umieszczony nad polem operacyjnym wytwarza obszar chroniony, z którego strumień laminarny powietrza wypiera zanieczyszczenia. Na obrzeżach nawiewanego strumienia tworzą się strefy mieszania o zwiększonym stopniu turbulencji powodując przewężenie strumienia laminarnego. Powoduje to zmniejszenie obszaru o wysokiej czystości mikrobiologicznej powietrza.

2.2.4 W jaki sposób ogranicza się przenikanie zanieczyszczonego powietrza z sąsiednich pomieszczeń do sal operacyjnych ?

Bardzo szczelne okna i drzwi sal operacyjnych oraz kontrolowany rozkład ciśnień wytwarzanych w pomieszczeniach bloku operacyjnego przez system klimatyzacji-wentylacji są warunkiem skutecznego ograniczenia przenikania zanieczyszczonego powietrza do sal operacyjnych aseptycznych lub wypływu niebezpiecznych zanieczyszczeń z sal septycznych. Właściwa relacja ciśnień utrzymywanych między pomieszczeniami w celu zachowania kierunku przepływu powietrza z pomieszczeń o wyższym standardzie higienicznym do pomieszczeń o niższym standardzie organizuje przepływ powietrza pomiędzy wszystkimi istotnymi pomieszczeniami bloku operacyjnego. W pomieszczeniach aseptycznych system wentylacji utrzymuje nadciśnienie, a podciśnienie w pomieszczeniach septycznych (rys.15). Różnica ciśnień stanowi barierę dla zanieczyszczeń, które mogłyby przedostać się z obszarów o niższych wymogach czystości mikrobiologicznej do obszarów o wyższych wymogach.

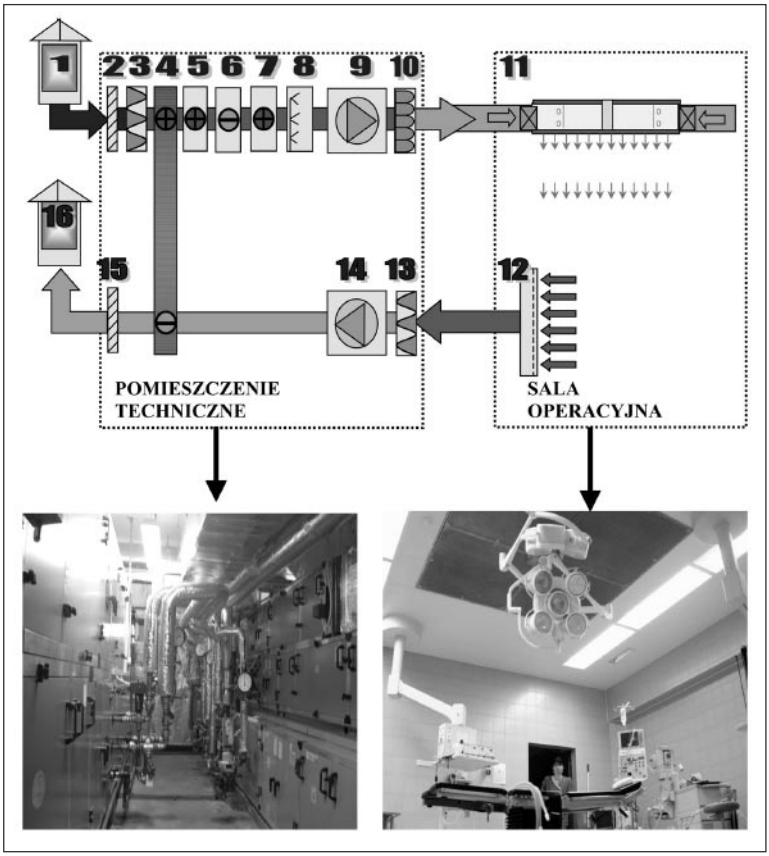


Rys.15 Utrzymywanie stałego ciśnienia w sali operacyjnej względem przyległych do niej pomieszczeń wymusza kierunek przepływu zanieczyszczeń przez nieszczelności oraz chwilowo otwierane drzwi [20].

Zmieniające się na skutek np. zwiększającego się zużycia filtrów systemu klimatyzacji i wentylacji przepływy powietrza i różnice ciśnień w pomieszczeniach mogą doprowadzić do znacznego zwiększenia poziomu zanieczyszczeń powietrza w salach operacyjnych.

2.2.5 W jaki sposób przygotowuje się sterylne powietrze dla sal bloku operacyjnego?

Sterylne powietrze dostarczane jest do sal operacyjnych przez specjalistyczne instalacje klimatyzacji - wentylacji. Na rys. 16 przedstawiono uproszczony schemat instalacji klimatyzacji - wentylacji sali operacyjnej.



Rys.16 Uproszczony schemat instalacji klimatyzacji - wentylacji sali operacyjnej

1 – czerpnia powietrza
2 – przepustnica powietrza
3 – wstępny filtr powietrza

4 – instalacja odzysku ciepła
5 – nagrzewnica wstępna powietrza
6 – chłodnica powietrza
7 – nagrzewnica wtórna powietrza
8 – blok nawilżania powietrza
9 - wentylator nawiewu o regulowanej wydajności
10 – filtr dokładny powietrza
11 - zespół nawiewników powietrza wyposażonych w filtry absolutne
12 - zespół kratek wyciągowych
13 - filtr wyciągu
14 - wentylator wyciągu o regulowanej wydajności
15 - przepustnica powietrza
16 - wyrzutnia powietrza

Sterylne powietrze uzyskuje się poprzez wielostopniową filtrację powietrza zewnętrznego wtłaczanego do pomieszczeń przez wentylatory znajdujące się w instalacjach przygotowania powietrza. Poza filtracją powietrza system klimatyzacji-wentylacji pełni szereg dodatkowych funkcji, takich jak:

- wypieranie i odprowadzanie zużytego, zanieczyszczonego powietrza z sali operacyjnej
- izolacja środowiska bloku operacyjnego od dopływu zewnętrznych zanieczyszczeń poprzez utrzymywanie różnicy ciśnień pomiędzy pomieszczeniami (wentylatory o zmiennej wydajności utrzymują wymagany przepływ powietrza - stałą ilość wymian i utrzymują wymagane nadciśnienie lub podciśnienie w wentylowanym pomieszczeniu względem pomieszczeń sąsiednich)
- podgrzewanie lub chłodzenie powietrza
- osuszanie lub nawilżanie powietrza
- odzysk ciepła z powietrza zużytego
- szybkie odprowadzanie gazów anestezjologicznych oraz przykrych zapachów i gazów powstających w procesie koagulacji tkanek
- tłumienie hałasu.

2.2.6 Jaki jest wpływ lamp bakteriobójczych UV-C na czystość mikrobiologiczną powietrza?

Instalowane w salach operacyjnych lampy bakteriobójcze UV-C spełniają podobne zadanie jak system klimatyzacji tzn. oczyszczają środowisko sali z zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Producenci lamp bakteriobójczych prześcigają się w wyliczaniu ich zalet, jak np.:

- ❖ wysoki poziom skuteczności dezynfekcji powietrza dochodzący do 99,9% (skuteczność potwierdzana jest badaniami mikrobiologicznymi)
- ❖ szybkie oczyszczanie pomieszczenia z zanieczyszczeń mikrobiologicznych.

Poniżej przedstawiono wyniki analizy dotyczące wpływu lamp UV-C na czystość mikrobiologiczną powietrza [22]. Wpływ ten jest często przeceniany.

Wnioski dotyczące wpływu lamp przepływowych UV-C są następujące:

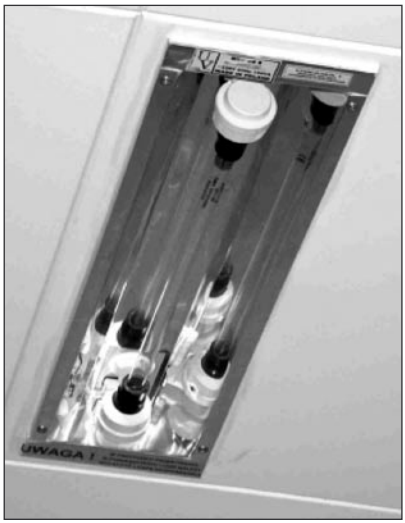
- Włączanie przepływowych lamp UV-C (rys.17) podczas zabiegów w pomieszczeniach, w których skutecznie działa klimatyzacja-wentylacja nie może w widoczny sposób wpływać na poziom zanieczyszczeń mikrobiologicznych.
- Włączanie lamp przepływowych UV-C w okresach przerw między zabiegami może w dużym stopniu obniżyć stężenie zanieczyszczeń mikrobiologicznych, jednak znacznie skuteczniejszym sposobem obniżenia ich stężenia jest praca klimatyzacji ze zmniejszoną wydajnością, pod warunkiem, że skuteczność filtracji powietrza w układzie klimatyzacji nie budzi zastrzeżeń.
- W przypadku sal operacyjnych o najwyższych wymaganiach aseptycznych klimatyzacja musi pracować bez przerw, a włączanie lamp przepływowych UV-C przed zabiegiem jest w tym przypadku nieuzasadnione.
- Lampy przepływowe UV-C nie mogą zastąpić klimatyzacji sali operacyjnej. Stosowanie tych lamp podczas zabiegów w salach, w których nie działa klimatyzacja stwarza tylko pozory czystości mikrobiologicznej powietrza. „Lepsze to niż nic". Lampy przepływowe nie są w stanie obniżyć stężenia zanieczyszczeń mikrobiologicznych do poziomu wymaganego przez normy.

Rys. 17 Dwufunkcyjna lampa bakteriobójcza zainstalowana w pomieszczeniu przygotowania pacjenta bloku operacyjnego w Szpitalu Specjalistycznym w Kościerzynie. Wykorzystywanie lampy przepływowej jest w tym szczególnym przypadku nieuzasadnione z uwagi na ciągłe (również w okresach przerw między zabiegami) działanie klimatyzacji o znacznie większej wydajności od wydajności lampy przepływowej. Wykorzystywanie lampy bezpośredniego działania przed i po zabiegach jest konieczne [22].

Istotne różnice występują w przypadku stosowania lamp UV-C bezpośredniego działania:

- Stosowanie tych lamp w okresie kiedy w sali przebywają ludzie jest niedopuszczalne.
- W okresie przerw między zabiegami praca tych lamp jest uzasadniona zarówno w przypadku całkowitego wyłączenia klimatyzacji, jak i podczas pracy klimatyzacji ze zmniejszoną wydajnością, ponieważ promieniowanie UV-C sterylizuje powierzchnie, a zadania tego nie pełni klimatyzacja.

- Podczas pracy klimatyzacji wpływ lamp bezpośredniego działania na czystość mikrobiologiczną powietrza jest ograniczony z uwagi na krótki czas przebywania zanieczyszczeń w zasięgu działania promieniowania UV. Np. dla sali operacyjnej, gdzie ilość wymian w=20h^{-1}, przeciętny czas przebywania zanieczyszczeń w zasięgu promieniowania UV, czyli czas ekspozycji, wynosi od 3 do 6 min [22]. Jest to czas zdecydowanie zbyt krótki dla wyjałowienia powietrza przez promieniowanie UV. Decydujące znaczenie ma tu czystość mikrobiologiczna nawiewanego powietrza. Im dłuższy będzie czas pracy lamp bezpośredniego działania tym skuteczniejsze będzie oczyszczenie powierzchni sali operacyjnej z zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Należy tu przestrzegać zaleceń producentów i projektantów dotyczących minimalnego czasu pracy lamp przed zabiegami oraz po zabiegach. Przedstawienie metod obliczania minimalnych czasów pracy lamp wykracza poza zakres opracowania. W praktyce lampy bezpośredniego działania włącza się na 30-60 minut [15].
- Stosowanie lamp bezpośredniego działania (rys. 18) powoduje selekcję zanieczyszczeń mikrobiologicznych, względny wzrost stężenia mikroorganizmów bardziej odpornych na promieniowanie. Progowa, zabójcza dawka promieniowania zależna od natężenia pola i czasu ekspozycji jest bardzo zróżnicowana dla różnych mikroorganizmów.



Rys. 18 W salach operacyjnych, w których w sposób ciągły działa klimatyzacja należy zalecać instalowanie wyłącznie lamp bakteriobójczych bezpośredniego działania [22].

2.2.7 Zalecenia eksploatacyjne

Sprawnie działający, nowoczesny system klimatyzacji-wentylacji dostarcza do sali operacyjnej powietrze o stężeniu zanieczyszczeń mikrobiologicznych nie przekraczającym kilku JTK/m^3. Utrzymanie sterylności lub przynajmniej przyzwoitego poziomu czystości mikrobiologicznej dostarczanego do sali powietrza wymaga wielu, ciągle prowadzonych zabiegów eksploatacyjnych, konserwacji, zabiegów higienicznych, przeglądów i bezzwłocznego usuwania usterek instalacji klimatyzacji-wentylacji. Decydujące znaczenie ma tu stan okresowo wymienianych filtrów powietrza. Stan filtrów powietrza ocenia się na podstawie kontroli wzrostu oporów - wzrostu spadku ciśnienia na filtrach. Doświadczenia autorów dowodzą, że ocena taka jest niewystarczająca. Konieczne jest również okresowe badanie czystości mikrobiologicznej powietrza oczyszczonego przez

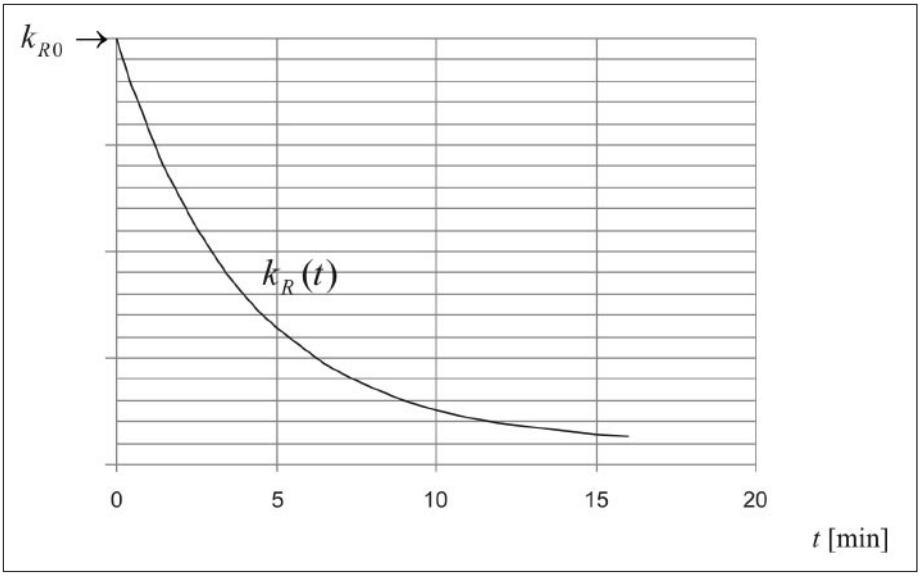
filtry absolutne, ponieważ jakość powietrza za tymi filtrami pogarsza się często szybciej niż wynikałoby to ze zwiększających się oporów przepływu. Wówczas konieczna staje się wcześniejsza wymiana filtrów absolutnych pomimo, że filtry te nie osiągnęły jeszcze tzw. końcowego spadku ciśnienia wskazanego przez producenta. Podobne zjawisko można zaobserwować na filtrach wstępnych i dokładnych. Zamiast zmniejszać stężenie zanieczyszczeń stają się one z czasem źródłem zanieczyszczeń mikrobiologicznych.
Dla zachowania czystości mikrobiologicznej powietrza w sali operacyjnej bardzo ważne jest również **zachowanie wymaganej ilości dostarczanego powietrza oraz utrzymanie właściwej relacji ciśnień pomiędzy pomieszczeniami** bloku operacyjnego. Dostarczanie odpowiedniej ilości powietrza do stropu laminarnego pozwala na zachowanie właściwej prędkości wypływu strumienia laminarnego mającej zdecydowany wpływ na stabilność tego strumienia. Z tego względu już na etapie projektowania należy zwracać szczególną uwagę na dobranie takiej wydajności, która gwarantuje uzyskiwanie właściwej prędkości wypływu powietrza ze stropu, co niekiedy wiąże się z większą niż założona krotnością wymian. Nie wszyscy projektanci znają te zależności.
Istnieje dużo technicznych czynników mających wpływ na czystość mikrobiologiczną powietrza w sali operacyjnej. Należą do nich m. in. [20]:

- lokalizacja czerpni powietrza z dala od źródeł zanieczyszczeń,
- stosowanie central klimatyzacyjnych w wykonaniu higienicznym oraz szczelnych kanałów przystosowanych do czyszczenia i dezynfekcji,
- skuteczna filtracja powietrza ,
- unikanie możliwości skażenia dostarczanego do sal powietrza na skutek kontaktu z powietrzem zużytym (odzysk ciepła, recyrkulacja),
- duża ilość wymian powietrza w celu rozcieńczenia i wyprowadzenia zanieczyszczeń uwalnianych w pomieszczeniach,
- wybór optymalnego systemu rozdziału powietrza,
- izolację środowiska sal od dopływu zewnętrznych zanieczyszczeń poprzez utrzymywanie różnicy ciśnień pomiędzy pomieszczeniami,
- stosowanie śluz pomiędzy pomieszczeniami o różnym statusie czystości mikrobiologicznej,
- ograniczenie niepożądanych stanów przejściowych instalacji klimatyzacji-wentylacji,
- używanie pomieszczeń z uwzględnieniem dynamiki usuwania zanieczyszczeń powietrza przez instalację klimatyzacji-wentylacji,
- ciągła praca instalacji klimatyzacji-wentylacji w salach o wysokich wymaganiach aseptycznych, bez przerw, 24 godziny na dobę, niezależnie od ilości wykonywanych zabiegów (praca z obniżoną wydajnością po zakończeniu zabiegów),
- podtrzymywanie czystości mikrobiologicznej sal przez lampy bakteriobójcze,
- ciągła, wystarczająco dokładna regulacja parametrów takich jak: temperatura, wilgotność, różnice ciśnień i przepływy powietrza,
- duży poziom niezawodności instalacji,
- ciągłe monitorowanie stanu instalacji i szybkie wykrywanie awarii,

• prawidłowa obsługa i konserwacja.

Instalacje klimatyzacji-wentylacji bloku operacyjnego z uwagi na swoje specyficzne właściwości i funkcje należy zaliczyć do specjalistycznych instalacji medycznych szpitala. Wiążą się z tym znacznie zwiększone wymogi eksploatacyjne niezbędne do zachowania bezpieczeństwa pacjentów i personelu szpitala.

W zaleceniach eksploatacyjnych systemów klimatyzacji-wentylacji bloku operacyjnego należy również uwzględnić to, że samo zjawisko usuwania zanieczyszczeń powietrza z klimatyzowanego pomieszczenia posiada swoją dynamikę, inercję zależną od ilości nawiewanego powietrza, sposobu rozdziału powietrza itd.. Np. po włączeniu systemu klimatyzacji nie następuje natychmiastowe oczyszczenie powietrza z zanieczyszczeń. Z uwagi na to klimatyzację należy włączać z wyprzedzeniem, przed rozpoczęciem operacji (rys.19). Z przeprowadzonych analiz wynika, że **włączając wentylację sali operacyjnej na pół godziny przed zabiegiem uzyskamy zbliżoną do zaprojektowanej czystość mikrobiologiczną powietrza** niezależnie od przewidywanej w projekcie ilości wymian i początkowego stężenia zanieczyszczeń, pod warunkiem, że system wentylacji został prawidłowo zaprojektowany, prawidłowo wykonany i jest eksploatowany zgodnie z założeniami projektanta dotyczącymi wymaganej ilości wymian i nadciśnienia oraz pod warunkiem, że sam system klimatyzacji nie jest źródłem zanieczyszczeń. Należy podkreślić, dotyczy to tylko sal operacyjnych, które z założenia muszą spełniać szereg wymogów uwzględnionych w analizie [21].



Rys. 19 Stężenie zanieczyszczeń powietrza w sali operacyjnej po włączeniu sprawnie działającej wentylacji zmienia się w sposób przedstawiony na rysunku [21].

W przerwach pomiędzy zabiegami oraz po zakończeniu zabiegów, w okresach przeprowadzania mycia profilaktycznego i gruntownego, dezynfekcji, przygotowań do zabiegów, napraw aparatury, itp. wentylacja sali operacyjnej powinna pracować z pełną wydajnością szybko usuwając powstające podczas tych czynności, w dużych ilościach, zanieczyszczenia powietrza. Najlepszym rozwiązaniem umożliwiającym uzyskanie najwyższej jakości powietrza jest ciągła praca systemu klimatyzacji-wentylacji, 24 godziny na dobę, z możliwością obniżania wydajności w okresach dłuższych przerw między zabiegami. Proces obniżania wydajności może być w prosty sposób zautomatyzowany po zastosowaniu czujników wykrywających obecność osób w salach operacyjnych.

Niezależnie od zastosowanych rozwiązań, nie powinno się rozpoczynać nowych zabiegów bezpośrednio po czynnościach wywołujących wzmożoną emisję zanieczyszczeń, z uwagi na inercję zjawiska usuwania zanieczyszczonego powietrza przez system wentylacji.

Z uwagi na to, że instalacje klimatyzacji-wentylacji szpitala odprowadzają z pomieszczeń zanieczyszczenia mikrobiologiczne podczas ich eksploatacji należy założyć, że stwarzają one zagrożenie dla osób prowadzących ich konserwację i naprawy [22]. Szczególnie dotyczy to instalacji wyciągowych: septycznych sal operacyjnych, izolatek, brudnych i czystych stref sterylizatorni, dezynfektorni, wyciągów strefy brudnej pralni itp.. Np. na filtrach powietrza zainstalowanych w układach wyciągowych następuje kumulacja zanieczyszczeń mikrobiologicznych podczas ich kilkumiesięcznej eksploatacji. Podczas wymiany tych filtrów i konserwacji instalacji wyciągowych należy zachować szczególne środki ostrożności. Zabezpieczenia personelu technicznego w postaci kompletnej odzieży ochronnej powinny stać się w tym przypadku standardowym wyposażeniem (rys. 20).

Rys. 20 Wymiana filtra powietrza w instalacji wyciągowej septycznej sali operacyjnej [22].

Osoby mające bezpośrednią styczność z instalacjami klimatyzacji-wentylacji szpitala powinny być objęte programem profilaktyki i zwalczania zakażeń szpitalnych (szczepienia ochronne, szkolenia, odpowiednia organizacja pracy). Zużyte materiały z instalacji wyciągowych (filtry, paski klinowe, uszczelki itp.) powinny być zabezpieczane, transportowane i niszczone podobnie jak niebezpieczne odpady medyczne.

3. Klasy czystości powietrza pomieszczeń szpitalnych

Pomieszczenia szpitalne dzieli się w Polsce na trzy klasy czystości mikrobiologicznej (tab. 2, 3). Pomieszczenia zaliczane do I i II klasy czystości, to pomieszczenia o podwyższonych wymaganiach higienicznych, tzw. pomieszczenia czyste. Rozwój technologii pomieszczeń czystych sprawia, że wymogi dotyczące czystości mikrobiologicznej powietrza ciągle rosną. W związku z tym starsze normy i zalecenia szybko tracą swoją aktualność. Wymogi stawiane w polskich wytycznych są także nieaktualne w świetle współczesnych wymogów stawianych szpitalom na świecie. Jednak z uwagi na przestarzałe instalacje klimatyzacji-wentylacji lub ich brak wymagania stawiane przez polskie wytyczne są często nieosiągalne w naszych szpitalach. Ze względu na to, że szpitale nie dysponują środkami na modernizację lub budowę instalacji klimatyzacji-wentylacji, znaczną część zabiegów operacyjnych w Polsce wykonuje się w salach operacyjnych o bardzo niskim standardzie mikrobiologicznym, w salach bez klimatyzacji-wentylacji, bez śluz, bez szczelnej stolarki budowlanej itp.. Z przeprowadzanych kontroli wynika, że ok. 40% szpitali nie posiada wymaganych instalacji klimatyzacji-wentylacji, a znaczna część szpitali nie eksploatuje posiadanych instalacji prawidłowo [21]. Z uwagi na to można się spodziewać, że rzeczywiste, panujące podczas wykonywania zabiegów stężenie zanieczyszczeń w salach operacyjnych często przekracza 1000 JTK/m^3 [21]. Ryzyko infekcji podczas zabiegów wykonywanych w salach operacyjnych, w których stężenie zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza osiąga wartość 1000 JTK/m^3 jest znacznie większe od tego jakie występuje w przypadku sal operacyjnych wyposażonych w nowoczesne, specjalistyczne systemy klimatyzacji-wentylacji. Zagadnienie to omówiono w rozdziale 4.

W szpitalach, w których istnieją techniczne możliwości podniesienia standardu czystości mikrobiologicznej sal operacyjnych należy stosować znacznie mniejsze wartości dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Wyboru właściwych wartości można dokonać po zapoznaniu się z przykładami zawartymi w literaturze [1, 11, 17].

Tab. 2 Przykładowe standardy czystości mikrobiologicznej powietrza [21]

-> Norma ->	Wytyczne polskie 1984		Amerykańska Akademia Chirurgii Ortopedycznej AAOS USA 1976		Włoski Instytut Zdrowia ISSI 1992		Przepisy Szwajcarskie SKI 1987	
Pozycja	Nazwa	JTK/m^3	Nazwa	JTK/m^3	Nazwa	JTK/m^3	Nazwa	JTK/m^3
1	I kl	70	1	35	A	10	I kl	10
2	II kl	300	5	175	B	200	II kl	50-200
3	III kl	700	20	700	C	500	III kl	200-500

Tab. 3 Wymagania dotyczące czystości powietrza stawiane wybranym pomieszczeniom szpitala [1, 11, 12]

I klasa czystości	Obejmuje pomieszczenia o możliwie najwyższej aseptyce. Należą do nich: • sale operacyjne wysokoaseptyczne, w których przeprowadza się transplantacje, operacje serca, mózgu, leczy ciężkie poparzenia, • boksy jałowe, • pracownie płynów infuzyjnych, • sale łóżkowe specjalne dla chorych z oparzeniami.
II klasa czystości	Obejmuje pomieszczenia o niskim poziomie bakterii. Do takich pomieszczeń zalicza się: • sale operacyjne aseptyczne, • sale operacyjne septyczne, • sale gipsu w zespole operacyjnym, • sale pooperacyjne, • pokoje wcześniaków, • sale przygotowania pacjentów i lekarzy.
III klasa czystości	Obejmuje pomieszczenia o normalnym poziomie bakterii. Zalicza się do nich: • sale porodowe, • sale zabiegowo-operacyjne, • sterylizatornie – część czysta. • sterylizatornie – część brudna, • sale endoskopii, • sale RTG, • pracownie diagnostyczne.

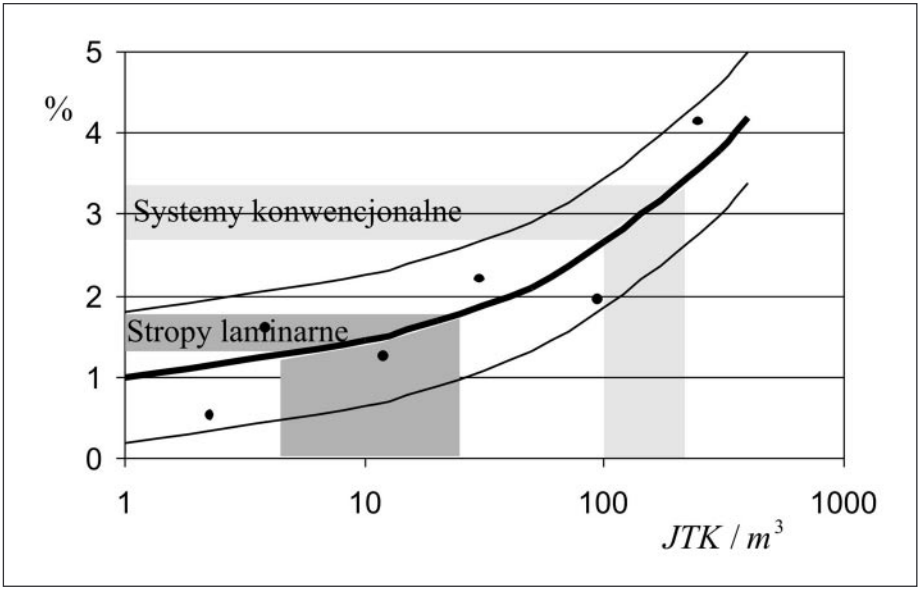
4. Jaki jest wpływ czystości mikrobiologicznej powietrza na ryzyko infekcji ?

W powietrzu atmosferycznym znajduje się wiele drobin pochodzenia organicznego i nieorganicznego czyli kurzu. W pomieszczeniach źle sprzątanych, kurz osiada na przedmiotach stanowiących wyposażenie sali operacyjnej, przenoszony jest za pośrednictwem powietrza wprawianego w ruch przez przemieszczający się personel,

przez otwieranie i zamykanie okien czy drzwi [3]. Aby utrzymywać nadciśnienie w sali operacyjnej wszystkie drzwi do sali muszą być zamknięte, nawet po zakończonych zabiegach, czy podczas sprzątania. W przypadku otwartych drzwi do sali operacyjnej, dochodzi do przenikania brudnego powietrza z sąsiadujących pomieszczeń, co za tym idzie do wyrównania ciśnień i w konsekwencji do zainfekowania filtrów powietrza drogą wstępującą. Potem powietrze przepływające przez zanieczyszczone filtry stwarza bezpośrednie ryzyko zainfekowania rany operacyjnej.

W podręcznikach, w których omawia się zasady zachowania higieny w szpitalach [15] podaje się, że około 25% infekcji powstałych w bloku operacyjnym pochodzi ze skażonego powietrza.

Z badań przeprowadzonych przez Lidwella [14, 22] (rys. 21, tab. 4) w oparciu o ok. 8 000 zabiegów operacyjnych wynika, że w szpitalach, w których przestrzega się wysokich standardów higienicznych wpływ ten jest znacznie większy. Z badań tych wynika, że obniżenie stężenia zanieczyszczeń jakie można uzyskać zastępując tradycyjne systemy klimatyzacji przez systemy ze stropem laminarnym może zredukować ilość zakażeń ok. dwukrotnie, a w przypadku zastosowania systemów z wentylowanymi kombinezonami personelu następuje 2,6 krotne zredukowanie ryzyka infekcji.



Rys. 21 Ryzyko infekcji pooperacyjnej w zależności od stężenia zanieczyszczeń mikrobiologicznych w sali operacyjnej wg Lidwella [14].

Tab. 4 Wpływ klimatyzacji-wentylacji na ryzyko infekcji podczas operacji ortopedycznych przy uwzględnieniu wpływu profilaktyki antybiotykowej wg Lidwella [22].

	System konwencjonalny klimatyzacji-wentylacji		**Nawiew laminarny +wentylowane kombinezony personelu**	
	Profilaktyka antybiotykowa			
	Nie	Tak	Nie	Tak
Liczba operacji	1'880	6'791	2'730	2'754
Ilość infekcji	109	90	18	17
Ryzyko infekcji [%]	5,8	1,3	0,7	0,6

Jakie jest ryzyko infekcji przy braku instalacji klimatyzacji oczyszczającej powietrze możemy się jedynie domyślać ekstrapolując wykres z rys. 21 do wartości 1000 JTK/m^3 i większych, bo takich wartości możemy się spodziewać w salach operacyjnych, w których jedynym zabezpieczeniem są siatki przeciw owadom w oknach i lampy bakteriobójcze. W Polsce szacuje się, że na oddziałach chirurgicznych zakażeniom ulega nie mniej niż 10% pacjentów [1]. Odpowiada to właśnie warunkom, które nie mieszczą się już na wykresie sporządzonym przez Lidwella. Byłoby przesadą twierdzenie, że zanieczyszczone powietrze jest jedyną przyczyną wysokiego ryzyka infekcji i zaniedbywanie innych czynników ryzyka, takich jak:

- rodzaj interwencji chirurgicznych, stosowanie inwazyjnych zabiegów medycznych i metod leczenia ułatwiających drobnoustrojom wniknięcie do organizmu człowieka, duża czasochłonność zabiegu - duży czas ekspozycji,
- podatność pacjenta na infekcje, obniżona odporność chorych z powodu zastosowanych leków zakłócających czynniki obrony swoistej i nieswoistej organizmu (immunosupresja, chemioterapia, itd.),
- samozakażenie spowodowane przez emisję zanieczyszczeń ze skóry, ciała, płynów pacjenta, (własna flora endogenna, flora pochodząca od innych chorych i personelu),
- rodzaj stosowanej profilaktyki antybiotykowej,
- obecność wyselekcjonowanych, wieloopornych szczepów szpitalnych,
- stan higieniczny oraz stan zdrowotny personelu medycznego, nosicielstwo drobnoustrojów patogennych,
- nie przestrzeganie zasad aseptyki przez personel,
- zanieczyszczenie mikrobiologiczne pomieszczeń, sprzętu i urządzeń medycznych, nieprawidłowo wyjałowione serwety, fartuchy itp., zła jakość stosowanych przez personel masek chirurgicznych, czepków, rękawiczek i pozostałej odzieży ochronnej,
- skuteczność środków stosowanych do mycia i dezynfekcji, prawidłowe stosowanie i eksploatacja lamp UV.

Z całą pewnością można jednak stwierdzić, że czystość mikrobiologiczna powietrza jest warunkiem koniecznym do uzyskania niskiego ryzyka infekcji.
Z wykresu Lidwella wynika również, że po wprowadzeniu nowoczesnych, laminarnych systemów klimatyzacji-wentylacji uzyskano już na tyle wysoki poziom czystości mikrobiologicznej powietrza, że dalsze obniżanie stężenia zanieczyszczeń, poniżej kilku JTK/m^3, nie powoduje już widocznego obniżenia ryzyka infekcji.

Wychodząc naprzeciw problematyce zakażeń wydano w Polsce zaakceptowany przez Głównego Inspektora Sanitarnego zbiór rekomendacji i procedur dla polskich szpitali dotyczący „Praktycznych zasad kontroli zakażeń szpitalnych", który zawiera informacje odnośnie [18]:

- organizacji systemu kontroli zakażeń szpitalnych, zasady ich rozpoznawania i monitorowania, zgłaszania przez poszczególne oddziały szpitalne, postępowania w przypadku wystąpienia ogniska epidemicznego;
- planowania programu kontroli zakażeń szpitalnych, obiegu informacji dotyczących programu kontroli, edukacji personelu w tym zakresie;
- diagnostyki mikrobiologicznej w szpitalu;
- dezynfekcji, higieny szpitalnej i sterylizacji;
- podstawowych instrukcji zapobiegania zakażeniom szpitalnym dla personelu medycznego;
- zasad organizacji szpitalnej polityki antybiotykowej (SPA).

Na podstawie tych rekomendacji dla bloku operacyjnego przewiduje się np. w zakresie wentylacji mechanicznej - filtrację powietrza i jego wymianę przynajmniej 15 razy na godzinę i regularną kontrolę tego systemu.

5. Czym można zainfekować pacjenta ?

Zakażenia szpitalne stanowią obecnie jeden z głównych problemów epidemiologicznych. Szczególną uwagę zwraca się zarówno na aspekty ludzkie (cierpienie chorego, większa umieralność), jak i konsekwencje ekonomiczne, związane z dłuższą hospitalizacją i często koniecznością zastosowania droższego leczenia. Pełna eliminacja zakażeń szpitalnych nie jest możliwa. Działania ograniczające ryzyko tych zakażeń opierają się na eliminacji rezerwuarów i źródeł zakażenia, a także przerywaniu dróg transmisji.

Powietrze jest jedną z dróg przenoszenia zakażeń. Drogą powietrzną drobnoustroje przenoszone są na tzw. małych lub dużych jądrach skraplania oraz cząsteczkach kurzu. Jądra skraplania są uwalniane do środowiska m. in. w czasie kaszlu, kichania czy mówienia. Małe jądra skraplania (< 5 μm) mogą uczestniczyć w przenoszeniu nawet na dalekie odległości prątków gruźlicy, spor bakterii i grzybów oraz wirusów takich jak: VZV, adenowirusy, wirusy grypy, odry, świnki i różyczki. Duże jądra skraplania (>5 μm) zawierają zwykle bakterie, w tym paciorkowce, gronkowce, maczugowce i pałeczki. Bakteryjne zakażenia przenoszone drogą powietrzną to między innymi: paciorkowcowe zapalenie gardła, krztusiec, pneumokokowe zapalenie płuc, legioneloza, meningokokowe zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych.

W warunkach szpitalnych istotne znaczenie mają aerogenne zakażenia chorych w okresie immunosupresji oraz zakażenia ran oparzeniowych i chirurgicznych. Poważny problem stanowi również zanieczyszczenie ran florą egzogenną, zwłaszcza w czasie zabiegów czystych. W zewnątrzpochodnych zakażeniach miejsca operowanego powstałych w czasie zabiegu najczęstszym źródłem infekcji jest zespół sali operacyjnej. Rozprzestrzeniające się wraz z powietrzem potencjalnie patogenne drobnoustroje uwalniane są z powierzchni ciała razem ze złuszczającym się naskórkiem (*Staphylococcus spp., Micrococcus spp., Corynebacterium spp.*) oraz z wydzielinami błon śluzowych (*Streptococcus spp.*). Liczba drobnoustrojów stanowiących ryzyko zakażenia istotnie wzrasta, jeżeli w zespole operacyjnym znajdują się osoby ze zmianami chorobowymi skóry lub nosiciele szczepów chorobotwórczych np. *Staphylococcus aureus metycylinowrażliwy* (MSSA) lub *metycylinooporny* (MRSA), a także w sytuacji nieprawidłowo założonej odzieży ochronnej.

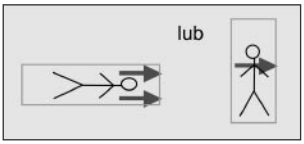
Szczególną grupą pacjentów narażonych na zakażenia drobnoustrojami obecnymi w powietrzu są chorzy z immunosupresją. Neutropenia powstała w następstwie chemioterapii jest głównym czynnikiem ryzyka układowych infekcji grzybiczych, do rozwoju których dochodzi bezpośrednio w wyniku wdychania spor grzybów, lub po wcześniejszej kolonizacji jamy nosowo-gardłowej. Najczęstsze aerogenne zakażenie dróg oddechowych z grupy zakażeń oportunistycznych to aspergiloza i pneumocystozowe zapalenie płuc.

Najczęstszą przyczynę zakażeń w miejscu operowanym stanowi fizjologiczna flora pacjenta. Niestety nie można wysterylizować skóry w bezpośrednim sąsiedztwie cięcia chirurgicznego, gdyż bakterie znajdują się nie tylko na powierzchni, ale także w warstwie rogowej naskórka i mieszkach włosowych ciągle przedostając się na powierzchnię skóry.

Modele skażenia pokazują, że minimalna liczba bakterii niezbędna do tego, aby doszło do zainfekowania rany chirurgicznej bez wykonywania wszczepu, wynosi 100 000 bakterii na gram tkanki. Jeśli wszczepia się ciało obce, liczba ta jest znacznie niższa i wynosi jedynie 100 bakterii na gram tkanki.

Każdy człowiek jest nosicielem średnio tysiąca do miliona bakterii. Skórę ludzką kolonizuje dużo różnorodnych drobnoustrojów, choć najczęstszymi z nich są gronkowce koagulazo-ujemne, gronkowiec złocisty, odpowiedzialne za około 34% zakażeń w miejscu operowanym. *Escherichia coli* (pałeczka okrężnicy) i bakterie z rodzaju *Pseudomonas* także występują w dużej ilości.

Ze względu na możliwość zakażenia pacjenta jego własną florą pochodzącą z dróg oddechowych, należy minimalizować to ryzyko właściwym jego ułożeniem na stole operacyjnym w odniesieniu do strumienia nawiewanego powietrza (rys. 22).



Rys. 22 Prawidłowe ułożenie pacjenta względem składowej poziomej prędkości przepływającego nad nim strumienia powietrza [20]

Pyły bakteryjne, po wyschnięciu cząstek śliny i śluzu, są najbardziej niebezpiecznymi aerozolami biologicznymi. Własna flora fizjologiczna pacjenta może doprowadzić w przypadku osłabienia organizmu i przerwania ciągłości tkanek podczas zabiegów chirurgicznych do poważnych zaburzeń zdrowotnych i powikłań pooperacyjnych.
W czasie długotrwałego pobytu szpitalnego, częściej u chorych leczonych w kilku kolejnych szpitalach dochodzi do zastąpienia flory bakteryjnej pacjenta (endogennej) przez patogeny szpitalne, często oporne na większość antybiotyków, np. *Staphylococcus aureus* (MRSA). W miarę możliwości należy usuwać te źródła zakażenia poprzez np. ekstrakcję zębów, stosowanie maści antybiotykowych do nosa, likwidację ropni okołozębowych czy zbiorników ropnych w zatokach szczękowych. Istotne znaczenie mają współistniejące choroby skóry np. trądzik, zakażone potówki, zakażony wyprysk alergiczny itp.. Zmiany grzybicze w obrębie krocza, pochwy, grzybice międzypalcowe z nadkażeniem bakteryjnym mogą być przyczyną ciężkich uogólnionych zakażeń pooperacyjnych. Wykluczyć należy również możliwość ognisk bakteryjnych w układzie moczowym i oddechowym.

W badaniach doświadczalnych wykazano, że ryzyko możliwości zakażenia rany operacyjnej jest wprost proporcjonalne do wielkości skażenia pola operacyjnego oraz zjadliwości i lekooporności drobnoustroju [16].

Zjadliwość drobnoustrojów zależy od wielu czynników, które pozwalają im kolonizować błony śluzowe i tkanki, oraz czynników wywołujących zmiany patologiczne o charakterze miejscowym i uogólnionym. Bardzo często występujące zakażenie *Pseudomonas aeruginosa* jest związane z wytwarzaniem proteaz (elastaza, proteaza zasadowa) powodujących rozpad kolagenu, fibronektyny i elastyny, natomiast np. gronkowce i inne bakterie Gram-dodatnie, mające zdolność łączenia się z białkami macierzy komórkowej, wytwarzają hemolizyny, niszczące fagocyty, a tworzony przy ich udziale glikokaliks ułatwia zagnieżdżenie się drobnoustrojów np. na ścianie przeszczepu lub biomateriału, ograniczając dostęp do tych miejsc antybiotyków i fagocytów [8].

Mniejsze znaczenie mają występujące w powietrzu mikroorganizmy pochodzące z powierzchni ścian, sufitu, podłogi, aparatury medycznej itp.. Powierzchnie suche są najczęściej źródłem bakterii Gram-dodatnich (gronkowców, paciorkowców) obecnych w kurzu, złuszczonym naskórku, włóknach materiału, z którego wykonano odzież ochronną.
Źródłem pałeczek Gram-ujemnych może być środowisko wilgotne, w tym także zanieczyszczone roztwory preparatów dezynfekcyjnych (rzadko) [6].

Nowoczesne rozwiązania dotyczące wykończenia ścian sali operacyjnej to panele ze stali nierdzewnej, tapety z włókna szklanego pokrywane zmywalną farbą lub tworzywa sztuczne. Wykończenie ścian z użyciem płytek ceramicznych jest rozwiązaniem przestarzałym, bowiem spoiny pomiędzy płytkami uniemożliwiają w praktyce uzyskanie odpowiedniego stopnia czystości mikrobiologicznej [9].

Nieodpowiednio czyszczone i dezynfekowane urządzenia do klimatyzacji mogą być źródłem legionellozy. Zakażenie może się przenosić przez wdychanie zakażonego pyłu wodnego pochodzącego z sieci wodociągowej. *Legionelle* rozmnażają się w wodzie w

temperaturze 20-50^{0}C; często można je wyizolować z urządzeń wodnych, a także ze stawów, strumieni i gleby. Nie zdarzają się zakażenia człowieka od człowieka.
Większość legionelli może wywoływać chorobę grypopodobną o przebiegu łagodnym lub umiarkowanym, niekiedy z kaszlem. Taka postać legionellozy nazywana jest gorączką Pontiac (od miejsca, w którym po raz pierwszy pojawiły się liczne zachorowania).
Chorobą poważniejszą w skutkach, gdyż nie leczona może prowadzić do zgonu jest ciężkie zakażenie układowe, przebiegające z nietypowym zapaleniem płuc, prawie zawsze wywołaną przez typ serologiczny *Legionella pneumophila* – choroba legionistów.
Najczęściej zapadają na tę chorobę mężczyźni w średnim i starszym wieku, po 50-tym roku życia, osoby palące papierosy lub chorujące na przewlekłe choroby układu oddechowego.
Legionella nie przeżywa w temperaturze powyżej 55^{0}C i nie proliferuje w temperaturze poniżej 20^{0}C [28].
Obserwacje dowiodły, że siedliskiem jej mogą stać się nawilżacze w układach klimatyzacyjnych oraz zawilgocone filtry. W przypadkach stosowania pary wodnej do nawilżania powietrza ryzyko skażenia jest znikome. Sposoby zapobiegania epidemii legionellozy w szpitalach:

1. Unikanie zbędnego wydłużania instalacji wodociągowej
2. Zapewnienie odpowiedniego chlorowania wody
3. Zapewnienie odpowiednio wysokiej temperatury ciepłej wody
4. Unikanie kranów i pryszniców rozpylających wodę
5. Skrupulatna konserwacja kranów, pryszniców, urządzeń do klimatyzacji
6. Rozważenie możliwości pasteryzacji skolonizowanych instalacji wody ciepłej.

Walki o całkowite zlikwidowanie zakażeń szpitalnych nie można wygrać.
Należy zauważyć, że istnieją zakażenia szpitalne, na których powstanie działalność szpitala ma tylko ograniczony wpływ profilaktyczny, chociaż przeczą temu rankingi szpitali, w których podaje się ryzyko infekcji bliskie zeru. W rzeczywistości nie osiąga się takich wyników. Podawane w rankingach wyniki są często znacznie lepsze od tych jakie uzyskuje się na podstawie długotrwałych, systematycznych badań naukowych prowadzonych w szpitalach o najwyższym poziomie higieny, w których zabiegi wykonuje się w pomieszczeniach sterylnych z przepływem laminarnym, a personel ubiera się w „kosmiczne" kombinezony ograniczające emisję zanieczyszczeń.
Z prowadzonych badań [14] wynika, że obecnie walka może się toczyć nawet o kilkukrotne zmniejszenie ryzyka infekcji, a bitwa o czyste powietrze jest bardzo istotnym elementem tej walki.

6. Czy w salach operacyjnych można wykonać w pełni wiarygodne pomiary czystości mikrobiologicznej powietrza ?

Stężenie zanieczyszczeń w sali operacyjnej, w której chcielibyśmy przeprowadzić pomiary, zależy od wielu czynników i zmienia się w dużym zakresie w zależności od lokalizacji punktów pomiarowych, rodzaju operacji, ilości personelu, od fazy zabiegu operacyjnego, pory roku itd...
Z uwagi na dużą zmienność stężenia zanieczyszczeń w przestrzeni i czasie, określenie procedur pomiarowych dla sal operacyjnych wyposażonych w klimatyzację-wentylację

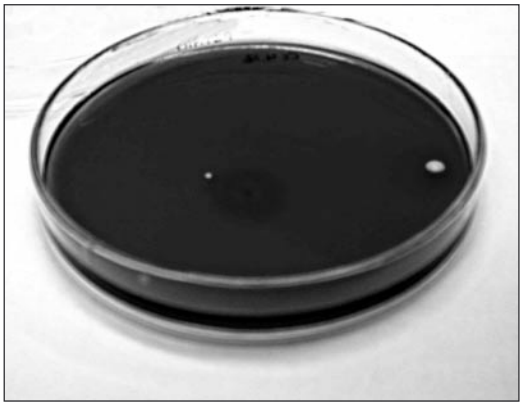
jest trudne. Po przeprowadzeniu głębszej analizy okazuje się, że w praktyce na ogół niemożliwe jest dokładne określenie poziomu czystości mikrobiologicznej sal operacyjnych, a otrzymane wyniki pozwalają na szacunkowe określenie zagrożeń mikrobiologicznych. Dokładne i pewne parametry dotyczące czystości mikrobiologicznej można określić w wyniku bardzo dużych serii pomiarowych lub po stworzeniu symulacyjnych warunków laboratoryjnych, co w warunkach rzeczywistych jest na ogół niemożliwe. Należy się liczyć z tym, że rozrzut wyników badań czystości mikrobiologicznej powietrza może być znaczny.

Z uwagi na duże ryzyko otrzymania błędnych wyników procedura badań mikrobiologicznych powietrza powinna być starannie przygotowana. Należy się również liczyć z tym, że wyniki jednorazowo przeprowadzonej serii pomiarów nie pozwolą nam jednoznacznie określić jaki jest standard czystości mikrobiologicznej powietrza w badanej sali operacyjnej. Dopiero systematyczne badania powtarzane wielokrotnie pozwalają na zmniejszenie ryzyka błędów.

6.1 Metody pomiarowe

Metoda sedymentacyjna

Starą, stosowaną jeszcze powszechnie w szpitalach metodą kontroli czystości mikrobiologicznej powietrza w salach operacyjnych jest metoda sedymentacji Kocha. Jest to metoda półilościowa, w której otwarte płytki z podłożem stałym (3-5 płytek) należy pozostawić na 30 minut na wysokości 1 metra umieszczając je na otwartej przestrzeni. Do pobrania próbek polecane są płytki Petriego zawierające podłoża wzbogacone (Tryptic Soy Agar-TSA, TSA z neutralizatorami), w zależności od potrzeb także podłoża wybiórcze (np. Sabouraud w oddziałach przeszczepiania szpiku). Podłoża po pobraniu materiału powinny być inkubowane przez 48 godzin w temperaturze 37^0 C (TSA) lub przez 10 dni w temperaturze 28^0 C (Sabouraud). Po tym czasie wyhodowane kolonie należy policzyć i standardowymi metodami zidentyfikować szczepy (rys. 23).



Rys. 23 Płytka Petriego używana do badania czystości mikrobiologicznej powietrza

Obliczanie wyników opiera się na założeniu, że [4, 15]:

- w ciągu 5 min na powierzchni równej $1m^2$ osiada tyle drobnoustrojów, ile znajduje się ich w $1m^3$ powietrza (w warunkach bezwietrznych i bez przeciągów);
- każda kolonia rozwinęła się z pojedynczej żywej komórki

zgodnie z tymi założeniami stężenie zanieczyszczeń mikrobiologicznych w powietrzu

można opisać wzorem:

$$k_R = \frac{n}{P} \cdot \left(\frac{5}{t_S} \right)$$

gdzie:

k_R – stężenie zanieczyszczeń mikrobiologicznych [JTK/m^3]
n - liczba kolonii wyrosłych na płytce
P - powierzchnia płytki [m^2]
t_S - czas otwarcia płytki (czas sedymentacji) [min], dla sal operacyjnych stosuje się czasy 30-60 min

Metoda sedymentacji posiada szereg wad. Nie wszystkie mikroorganizmy, kropelki wody lub cząstki pyłu, na których znajdują się mikroorganizmy osadzają się z jednakową szybkością. Dla wielu cząstek, szczególnie tych o małych rozmiarach, zależności przedstawione powyżej nie są prawdziwe, ponieważ szybkość osadzania zależy od wielu czynników takich jak: rozmiary, waga, ładunek elektrostatyczny, wilgotność, ruch powietrza itd.. Stosunkowo duże prędkości powietrza występujące w obszarach pomieszczeń klimatyzowanych mają duży wpływ na szybkość sedymentacji. Dlatego metoda ta może posłużyć jedynie do oszacowania prawdopodobnego stężenia mikroorganizmów w obszarach, w których ruch powietrza jest nieznaczny. Metoda ta nie może być wykorzystana np. do przeprowadzenia bardzo ważnych badań czystości mikrobiologicznej powietrza nawiewanego lub wywiewanego z uwagi na dużą prędkość powietrza w okolicy kratek lub nawiewów laminarnych. Zaletą metody sedymentacyjnej jest prostota, szybkość i niski koszt badania.

Metody polegające na mechanicznym oddzielaniu zanieczyszczeń z próbki powietrza o standardowej objętości

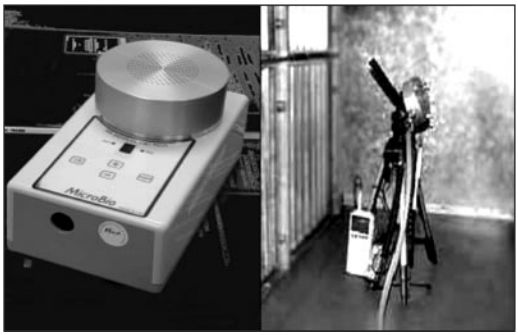
Z uwagi na poważne wady metody sedymentacyjnej wprowadzono urządzenia pomiarowe pozwalające na mechaniczne oddzielenie zanieczyszczeń z pobranej próbki powietrza. W urządzeniach tego typu pobrana przez mały wentylator lub pompkę ściśle określona ilość powietrza poddana jest specyficznej obróbce w celu oddzielenia zanieczyszczeń. Pobrane przez urządzenie pomiarowe powietrze zawiera wszystkie zanieczyszczenia niezależnie od ich właściwości fizykochemicznych oraz warunków panujących podczas prowadzenia pomiarów, takich jak przewiewy, wymuszony przez wentylację ruch powietrza itp.. W ten sposób wyeliminowano wady metody sedymentacyjnej. W praktyce stosuje się dwie metody wychwytu zanieczyszczeń z pobranej próbki powietrza.

Metoda filtracyjna polega na przepuszczeniu próbki powietrza przez filtr na którym zatrzymują się zanieczyszczenia mikrobiologiczne, które poddawane są później dalszej obróbce w laboratorium mikrobiologicznym (posiew, inkubacja, zliczanie liczby kolo-

nii, obliczenie stężenia zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza). Metoda ta ma również swoje wady, np. niewłaściwy wybór urządzenia filtrującego lub wydłużenie ekspozycji może wpłynąć na zmniejszenie żywotności niektórych mikroorganizmów wskutek ich wysuszenia.

Metoda zderzeniowa polega na przepuszczeniu próbki powietrza przez przyrząd, w którym powietrze uderzając o powierzchnię pożywki zmuszone jest do nagłej zmiany kierunku, w wyniku czego zawarte w nim zanieczyszczenia osadzają się na powierzchni pożywki. Następnie zainfekowaną pożywkę poddaje się inkubacji, zliczaniu liczby kolonii i przeliczeniu tej liczby na stężenie zanieczyszczeń powietrza zgodnie z instrukcją producenta urządzenia.
Podczas prowadzenia pomiarów, podobnie jak w metodzie filtracyjnej, przy dłuższej ekspozycji może dojść do wysychania podłoża, przez co następuje mniejsza zdolność podłoża do zatrzymywania cząstek oraz wysuszenie zebranych mikroorganizmów.

Na rys. 24 przedstawiono przykłady mierników do wykonywania badań mikrobiologicznych.



Rys. 24 Przykłady mierników do przeprowadzania kontroli czystości mikrobiologicznej powietrza: a) miernik do pobierania próbek metodą zderzeniową b) miernik do jednoczesnego pomiaru zanieczyszczeń i parametrów powietrza [25]

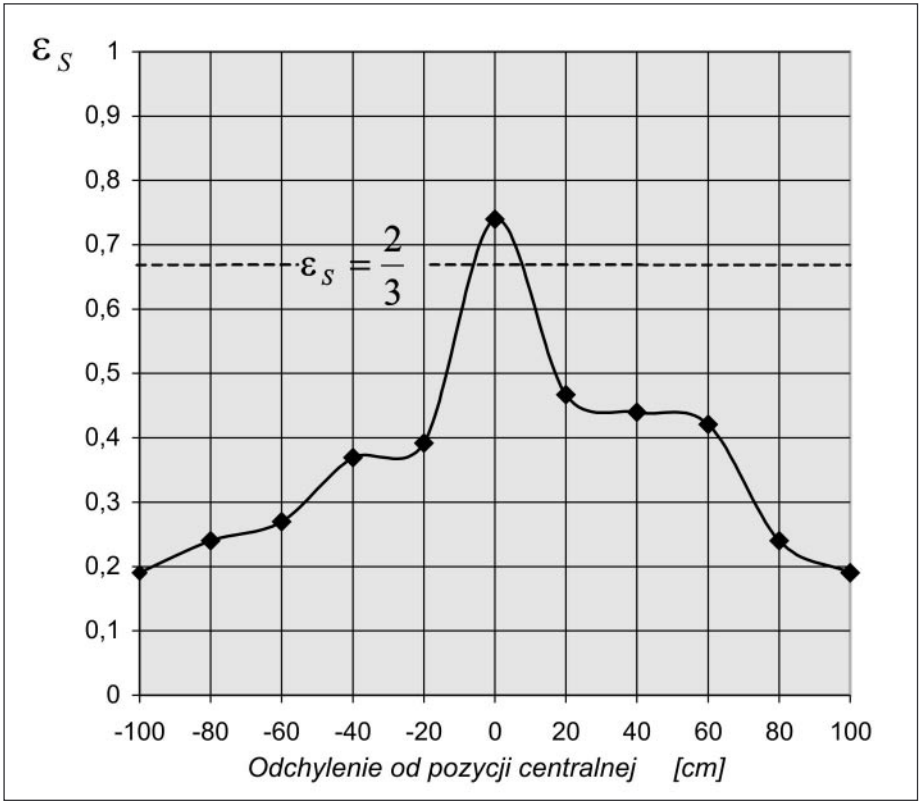
Na rys. 25 przedstawiono kolonie mikroorganizmów wyhodowane na płytce Petriego.

Rys. 25 Widok kolonii mikroorganizmów wyhodowanych na płytce Petriego, pochodzących z powietrza wentylacyjnego [10, 25]

6.2 Procedury pomiarowe

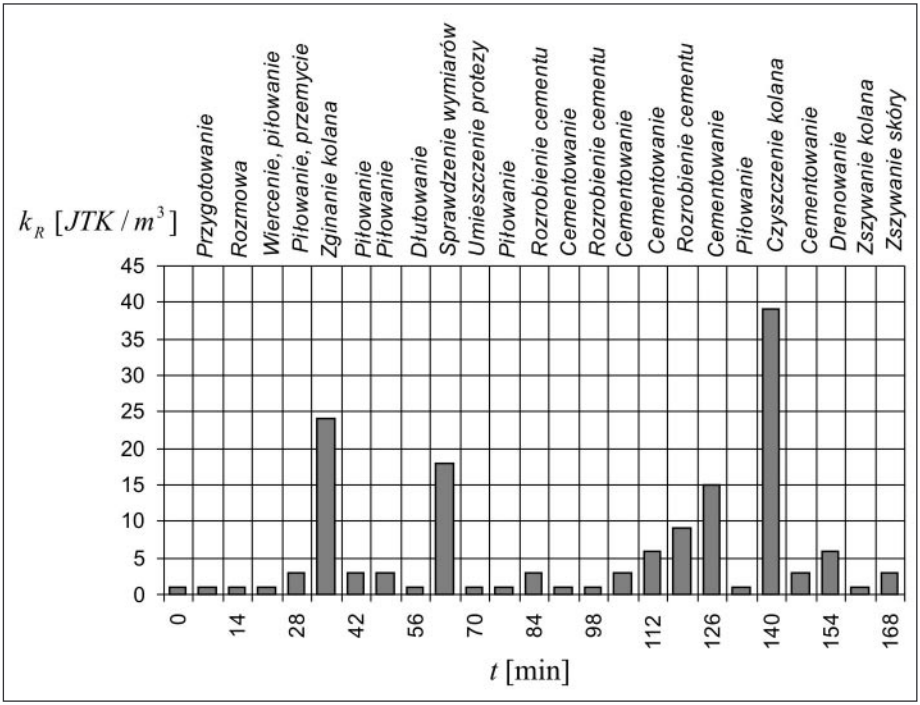
Pomiary wykonywane podczas trwania zabiegów operacyjnych

Pomiary wykonane w różnych punktach sali operacyjnej pozwalają na przybliżone określenie rozkładu stężenia zanieczyszczeń w pomieszczeniu. Wykonanie pomiarów w większej ilości punktów pozwala też na wykluczenie błędów pomiarowych. Jednak lokalizacja punktów pomiarowych i sposób pomiaru budzi duże wątpliwości. Należy zwrócić uwagę na bardzo istotne problemy. Po pierwsze zanieczyszczenia powietrza w sali operacyjnej posiadają bardzo zróżnicowany rozkład przestrzenny. Przykładem tego zróżnicowania może być przedstawiony na rys. 26 rozkład stężenia zanieczyszczeń powietrza pod lampą operacyjną. Okazuje się, że gdybyśmy wykonywali pomiary stężenia zanieczyszczeń pod tą lampą, to zmiana lokalizacji punktu pomiarowego - przesunięcie o ok. 20 cm może zmienić wynik pomiaru dwukrotnie.



Rys. 26 Rozkład stężenia zanieczyszczeń pod lampą operacyjną, na podstawie badań w modelowej sali operacyjnej wg DIN 4799 w Herman-Rietschel Institut TU Berlin [20].

Po drugie stężenie zanieczyszczeń charakteryzuje się dużą zmiennością w czasie. Rzeczywista emisja zanieczyszczeń podczas zabiegów zmienia się w bardzo dużym zakresie wartości w krótkich okresach czasu. Obrazem tego jest bardzo dynamicznie zmieniające się stężenie zanieczyszczeń w obszarze pola operacyjnego. W krótkim czasie poziom zanieczyszczeń w obszarze pola operacyjnego może zmienić się nawet kilkadziesiąt razy (rys. 27).



Rys. 27 Zmiany stężenia zanieczyszczeń zarejestrowane podczas trwania operacji kolana w sali operacyjnej z nawiewem laminarnym [21, 31].

Jaką wartość poznawczą ma w tej sytuacji pomiar stężenia zanieczyszczeń wykonany w konkretnym punkcie skoro wiadomo, że już za chwilę stężenie zanieczyszczeń w tym punkcie może się zmienić nawet kilkadziesiąt razy? Wykonanie wielu pomiarów rozłożonych w czasie lub pomiaru długookresowego też nie doprowadzi do otrzymania standaryzowanych wyników, ponieważ nie istnieją standardowe pod tym względem zabiegi operacyjne, podczas których moglibyśmy określić wzorcową lub chociażby zbliżoną do wzorcowej emisję zanieczyszczeń. Podsumowując można stwierdzić, że z uwagi na bardzo dużą zmienność emisji zanieczyszczeń podczas zabiegów operacyjnych i chimeryczność rozkładu przestrzennego zanieczyszczeń, pomiary czystości mikrobiologicznej powietrza wykonywane w rzeczywistej sali operacyjnej, podczas zabiegów, obarczone są bardzo dużym ryzykiem błędu. Nie pomoże tu nam stosowanie

norm opracowanych w oparciu o doświadczenia eksploatacyjne pomieszczeń czystych w przemyśle, gdzie możliwa jest znacznie lepsza standaryzacja pomiarów z uwagi na powtarzalność procesów przemysłowych.
Następnym problemem jest to, że wykonanie wielu pomiarów czystości mikrobiologicznej powietrza podczas zabiegu operacyjnego zakłócałoby pracę zespołu operacyjnego i narażałoby pacjenta na dodatkowe niebezpieczeństwa z tym związane.
Wykonanie wiarygodnych pomiarów stężenia zanieczyszczeń powietrza w przypadku współczesnych rozwiązań nawiewów laminarnych w salach operacyjnych wymagałoby metody, w której można zasymulować stałą w czasie emisję zanieczyszczeń np. metody pomiaru śladowych ilości gazu oraz konieczne byłoby wytworzenie warunków zbliżonych do panujących podczas zabiegów.
Dochodzimy więc do takiego wniosku do jakiego doszli już badacze nawiewów laminarnych dla sal operacyjnych a mianowicie, że wykonanie miarodajnych pomiarów możliwe jest w warunkach laboratoryjnych umożliwiających symulację źródeł zanieczyszczeń, personelu, pacjenta, aparatury medycznej, lamp operacyjnych itd.

Z uwagi na brak możliwości wykonania wiarygodnych pomiarów stężenia zanieczyszczeń w punktach zlokalizowanych w obszarze lub okolicy pola operacyjnego, poziom zanieczyszczenia powietrza w obszarze operacyjnym możemy jedynie oszacować na podstawie pomiarów wykonanych w okolicy wyciągów. W okolicy wyciągów następuje uśrednienie stężenia zanieczyszczeń, które zmienia się bardzo dynamicznie w obszarze operacyjnym. Szczególnie dotyczy to sal z nawiewem laminarnym, gdzie dla szacunkowego określenia stężenia zanieczyszczeń w obszarze pola operacyjnego, na podstawie pomiarów wykonanych w okolicy wyciągów, potrzebna jest znajomość charakterystyki danego nawiewu laminarnego. Stężenie zanieczyszczeń w obszarze chronionym przez nawiew laminarny będzie mniejsze od średniego stężenia w pomieszczeniu w stopniu określonym przez tzw. współczynnik kontaminacji [20]. W przypadku sal operacyjnych z konwencjonalnym systemem nawiewu (burzliwy, mieszający) możemy spodziewać się, że stężenie zanieczyszczeń w obszarze pola operacyjnego będzie zbliżone do zmierzonego w pobliżu wyciągów ponieważ następuje tu wymieszanie powietrza w pomieszczeniu. Rozkład przestrzenny stężenia zanieczyszczeń jest bardziej równomierny.

Pomiary wykonywane w przerwach pomiędzy zabiegami.

Wykonanie w miarę dokładnych pomiarów w warunkach rzeczywistej sali operacyjnej podczas zabiegów jest praktycznie niemożliwe, a wykonanie tych pomiarów poza okresem zabiegów wydaje się niezgodne ze zdrowym rozsądkiem. Z uwagi na brak głównego „źródła" zanieczyszczeń jakim jest zespół osób przebywających na sali podczas zabiegu (łącznie z pacjentem), mierzylibyśmy zanieczyszczenia pochodzące z instalacji klimatyzacji zmieszane z zanieczyszczeniami migrującymi do sali przez nieszczelności oraz ewentualnie z zanieczyszczeniami pozostałymi w sali po zabiegach. Z pomiarów nie uwzględniających rzeczywistej emisji zanieczyszczeń nie możemy wyciągnąć wniosków o faktycznym poziomie zanieczyszczeń mikrobiologicznych

powietrza panującym podczas zabiegów.
Jednak nie oznacza to, że z analizy wyników pomiarów wykonanych między zabiegami nie możemy wyciągnąć żadnych wniosków.
Bardzo istotny jest tu **pomiar czystości mikrobiologicznej powietrza nawiewanego** umożliwiający nam ocenę stanu instalacji klimatyzacji-wentylacji.
Pomiary wykonane w strumieniu nawiewanego powietrza w bezpośredniej okolicy kratek nawiewnych lub stropu laminarnego, w okresie przerw między zabiegami, przy wentylacji pracującej z nominalną wydajnością pozwolą nam określić skuteczność filtracji powietrza i czystość mikrobiologiczną instalacji. W tych pomiarach możemy się spodziewać wysokiej czystości mikrobiologicznej powietrza – stężenia zanieczyszczeń nie przekraczającego kilku JTK/m^3 w przypadku, w którym filtry absolutne (co najmniej klasy EU13 wg DIN 24183) znajdują się w samych nawiewnikach. Jeżeli pomiar wykonany tuż za tymi filtrami wykaże znacznie wyższe stężenie zanieczyszczeń, może to oznaczać zbyt niską skuteczność filtracji (filtr nie spełnia wymogów normy) lub nieszczelności powstałe podczas montażu filtrów. Jeżeli filtry są eksploatowane zbyt długo, to na bardzo dużej powierzchni filtrów absolutnych powstają sprzyjające warunki do rozwoju mikroorganizmów. W praktyce filtry absolutne zachowują swoje parametry przepływowe przez okres 2-3 lat, ale już w pierwszym roku eksploatacji mogą się stać źródłem emisji zanieczyszczeń mikrobiologicznych do sali operacyjnej. W przypadku sal o niższej klasie czystości mikrobiologicznej, w których filtry absolutne znajdują się w dalszej odległości od nawiewników, uzyskanie poziomu zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza nawiewanego poniżej 100 JTK/m^3 może być sukcesem. W tego typu instalacjach istnieje dużo możliwości wtórnej emisji mikroorganizmów rozwijających się w kanałach, tłumikach hałasu (tłumików hałasu nie powinno się instalować za filtrami absolutnymi) i w samych filtrach. W przypadku sal ultraczystych stężenie zanieczyszczeń mikrobiologicznych mierzone bezpośrednio za filtrami absolutnymi nie powinno przekraczać 0,5 JTK/m^3.
Utrzymanie wysokiego poziomu czystości mikrobiologicznej dostarczanego do sali powietrza wymaga wielu, ciągle prowadzonych zabiegów eksploatacyjnych, konserwacji, zabiegów higienicznych, przeglądów i bezzwłocznego usuwania usterek instalacji klimatyzacji-wentylacji.
W praktyce w wielu szpitalach badania czystości mikrobiologicznej powietrza przeprowadza się metodą sedymentacyjną, rozstawiając równomiernie płytki Petriego z odpowiednimi podłożami wzrostowymi w sali operacyjnej. Pomiary wykonuje się w okresie poza zabiegami, przy włączonej lub wyłączonej wentylacji. Podczas interpretacji wyników tych pomiarów napotykamy na cały szereg trudności. Oto niektóre z nich:

- Podstawowa trudność polega na tym, że w pustej sali operacyjnej nie ma głównych źródeł emisji zanieczyszczeń, tzn. personelu medycznego i pacjenta. Wyniki tych badań zupełnie nie odzwierciedlają warunków panujących podczas zabiegu, nie określają rzeczywistej ekspozycji pacjenta na szkodliwe zanieczyszczenia mikrobiologiczne powietrza. Na podstawie tych pomiarów możemy stwierdzić jedynie, że powietrze w sali operacyjnej przed zabiegami cechuje się wystarczającym poziomem

czystości mikrobiologicznej, ale nie można określić rzeczywistego stężenia zanieczyszczeń podczas zabiegów, kiedy poziom zanieczyszczeń wzrasta wielokrotnie.

- Jeżeli założymy, że w sali nie ma podstawowych źródeł emisji zanieczyszczeń, to powietrze w sali powinno osiągnąć taki poziom czystości mikrobiologicznej, jaki ma powietrze nawiewane przez instalację klimatyzacji-wentylacji. W rzeczywistości jednak źródłem emisji jest osoba wykonująca pomiary, która wprowadza znaczną ilość zanieczyszczeń do prawie sterylnego powietrza pochodzącego ze sprawnie działającej instalacji wentylacji. Przy pomocy tych pomiarów nie możemy więc określić jakości powietrza dostarczanego przez instalację klimatyzacji-wentylacji.
- Wątpliwe jest kryterium oceny tych badań tzn. przyjęty przez nas, dopuszczalny poziom zanieczyszczeń powietrza w sali, w której nie odbywają się zabiegi, ponieważ standardy czystości powietrza dla sal operacyjnych zostały stworzone przy uwzględnieniu źródeł emisji zanieczyszczeń.
- Jeżeli pomiary wykonuje się przy wyłączonej instalacji klimatyzacji-wentylacji, to całkowicie pomija się wpływ zanieczyszczeń przenikających do sali z instalacji klimatyzacji-wentylacji. W praktyce zdarza się, że powietrze dostarczane przez tą instalację może być mocno zanieczyszczone. W szpitalach zdarza się, że poziom zanieczyszczenia nawiewanego powietrza osiąga wartość 1000 JTK/m^3. W przypadku tak przeprowadzonych pomiarów nawet wysoki poziom zanieczyszczeń wprowadzanych przez instalację klimatyzacji-wentylacji nie zostanie wykryty, szczególnie w sytuacji, gdy pomiary wykonywane są po naświetleniu sali lampami bakteriobójczymi. Przypomnijmy, że efekt wyjałowienia powietrza lampami UV-C jest chwilowy i zanika prawie natychmiast po włączeniu wentylacji.

Jakie znaczenie może mieć w takim razie wykonywanie badań czystości mikrobiologicznej powietrza w okresach pomiędzy zabiegami ? Można tu rozważyć dwa przypadki.

- Jeżeli instalacja klimatyzacji-wentylacji pracuje w sposób ciągły, to na podstawie znacznych różnic wyników pomiarów wykonanych w wielu punktach sali operacyjnej możemy stwierdzić istnienie stref martwych, z których zanieczyszczenia nie są skutecznie odprowadzane lub stref o zwiększonym poziomie zanieczyszczeń związanym z przenikaniem ich z sąsiednich pomieszczeń. Natomiast wysokie stężenie zanieczyszczeń we wszystkich punktach pomiarowych świadczyć może o złej jakości powietrza dostarczanego przez system klimatyzacji-wentylacji lub znacznym zaburzeniu relacji ciśnień między pomieszczeniami. Trudność polega na tym, że nie do końca jesteśmy w stanie określić jaki poziom zanieczyszczeń uznamy za wysoki. Poziom zanieczyszczeń powietrza w pustej sali powinien być znacznie niższy od poziomu określonego w standardach czystości powietrza dla sal operacyjnych. Jeżeli instalacja klimatyzacji w sali operacyjnej pracuje w sposób ciągły, to na podstawie badań czystości mikrobiologicznej powietrza nie możemy stwierdzić skuteczności działania lamp bakteriobójczych ponieważ mają one drugorzędny wpływ na czystość mikrobiologiczną powietrza.
- W salach operacyjnych, w których klimatyzacja-wentylacja jest wyłączana w prze-

rwach pomiędzy zabiegami, a czystość mikrobiologiczna powietrza jest podtrzymywana przy pomocy promieniowania UV-C, to na podstawie przeprowadzonych badań możemy określić skuteczność dezynfekcji powietrza przez lampy bakteriobójcze, a nie możemy wyciągnąć wniosków dotyczących klimatyzacji, która ma dominujący wpływ na czystość powietrza podczas zabiegów.

Podsumowaniem informacji o procedurach pomiarowych stosowanych podczas badań czystości mikrobiologicznej powietrza w nowoczesnych salach operacyjnych są następujące wnioski:

- Przy pomocy tradycyjnie stosowanej metody sedymentacyjnej nie można określić nawet w przybliżony sposób klasy czystości mikrobiologicznej powietrza w badanej sali operacyjnej. Wyniki mają tu charakter wskaźnikowy, wskazują np. na pogarszanie się jakości powietrza, a nie pozwalają na dokładniejszą analizę ilościową.
- Niezbędnym uzupełnieniem powinno być badanie czystości mikrobiologicznej powietrza nawiewanego. Możemy domniemywać, że jeżeli posiadamy prawidłowo zaprojektowaną instalację klimatyzacji-wentylacji oraz jeżeli instalacja ta dostarcza wymaganą ilość czystego powietrza i utrzymuje właściwe relacje ciśnień miedzy pomieszczeniami, to możliwe będzie uzyskanie zaplanowanej klasy czystości mikrobiologicznej powietrza w sali. Jednak jest to tylko potencjalna możliwość. Można ją spełnić pod warunkiem zachowania wielu wymogów.
- Rzeczywistą czystość powietrza w sali operacyjnej możemy tylko oszacować na podstawie pomiarów dokonanych w okolicy wyciągów, podczas trwania zabiegów operacyjnych. Dokładne określenie czystości mikrobiologicznej powietrza jest tu praktycznie niemożliwe.
- Chimeryczny charakter zjawiska zanieczyszczenia powietrza oraz brak standardów określających procedury pomiarowe sprawiają, że wyniki prowadzonych pomiarów są często niewiarygodne.

6.3 Błędy pomiarowe

Istnieje wiele czynników mogących wywołać błędne wyniki pomiarów czystości mikrobiologicznej powietrza, np.: zła metoda pomiarowa, nieodpowiednia lokalizacja punktów pomiarowych, zakłócenie zjawiska przez „eksperymentatora" - emisja zanieczyszczeń przez osobę wykonującą pomiary, itd..

Stosowana procedura wykonywania pomiarów powinna minimalizować błędy pomiarowe i umożliwiać ich ocenę. Np. podczas badania miernikiem zderzeniowym czystości mikrobiologicznej nawiewanego powietrza osoba badająca wprowadza podczas wykonywania pomiarów zanieczyszczenia, których wpływu nie można zaniedbać przy analizie wyników pomiarów. Pomimo założenia kompletnego sterylnego ubioru ochronnego i niezwykłej dbałości podczas wykonywania pomiarów dochodzi do zanieczyszczenia podłoża wzrostowego, co w efekcie daje wynik o kilka JTK/m^3 większy od rzeczywistego stężenia zanieczyszczeń. Można to sprawdzić wykonując całą procedurę pomiarową (wkładanie płytki z podłożem do aparatu, zakładanie głowicy pomiarowej, wyciąganie

płytki) z pominięciem samego pomiaru. Już samo włożenie i wyjęcie płytki z podłożem z aparatu powoduje jej zanieczyszczenie wprowadzające błąd porównywalny w tym przypadku z wielkością mierzoną.
Dla stwierdzenia wielkości błędów pomiarowych należy do serii płytek poddanych ekspozycji dołączać płytki kontrolne, które wskażą nam to dodatkowe zainfekowanie płytek podczas manipulacji związanych z wykonywanymi pomiarami oraz płytki zupełnie nie używane dla sprawdzenia sterylności podłoża. Wielkość błędów pomiarowych szacuje się przez porównanie wyników badań uzyskanych z hodowli wszystkich w/w podłoży.
Pomiarów nie należy wykonywać tuż po włączeniu wentylacji, lecz po okresie kiedy w pomieszczeniu ustabilizuje się stężenie zanieczyszczeń tzn. około 30 min. po włączeniu wentylacji.
Niewłaściwy wybór metody pomiarowej może wywołać błędy, których następstwem może być zupełnie niewiarygodna ocena stanu higienicznego sali operacyjnej.
Pomiary w okolicy nawiewów lub wyciągów można wykonać metodą filtracyjną lub zderzeniową. Stosując w tym przypadku metodę sedymentacyjną na pewno nie uzyskamy wiarygodnych wyników ze względu na zbyt duże prędkości powietrza. Wątpliwe wyniki otrzymamy również stosując metodę sedymentacyjną do pomiarów wewnątrz sali z włączoną wentylacją. Ruch powietrza wewnątrz sali jest mniejszy jak przy nawiewach czy wyciągach, ale jest on wystarczający do zakłócenia grawitacyjnego opadania zanieczyszczeń powietrza, na którym oparta jest metoda sedymentacyjna. Błąd tej metody jest w tym przypadku trudny do oszacowania.
Wniosków o poziomie zanieczyszczeń mikrobiologicznych nie można wyciągać na podstawie jednego pomiaru. Z uwagi na dużą ilość czynników zakłócających pomiary i dużą zmienność zjawiska, konieczne jest okresowe wykonywanie serii pomiarów oraz zastosowanie analizy statystycznej dla określenia błędu.

6.4 Parametry, które powinno się rejestrować podczas wykonywania badań czystości mikrobiologicznej powietrza

Na wynik badania czystości mikrobiologicznej powietrza wpływają takie parametry jak: temperatura zewnętrzna, temperatura w pomieszczeniu, wilgotność, ilość wymian, nadciśnienie, podciśnienie. Powinny one zostać zarejestrowane podczas wykonywania badań czystości mikrobiologicznej powietrza.
Znajomość tych parametrów może okazać się pomocna podczas analizy pomiarów mikrobiologicznych i ewentualnie szukania przyczyn obniżonej czystości mikrobiologicznej pomieszczeń.

6.5 Częstotliwość wykonywania pomiarów

W Polsce nie ma norm dotyczących szczegółowych warunków badań czystości mikrobiologicznej powietrza w salach operacyjnych. Niemiecka norma DIN 1946-4

zaleca coroczną kontrolę czystości mikrobiologicznej powietrza oraz instalacji klimatyzacji-wentylacji. Badania należy przeprowadzać również po każdej wymianie filtrów absolutnych i remontach mających wpływ na czystość mikrobiologiczną powietrza w pomieszczeniu.
Z jaką częstotliwością należy wykonywać te pomiary? Zdania są tu podzielone. Częstotliwość badań powinna być zależna od rodzaju prowadzonych zabiegów, stanu technicznego budynków i instalacji, zastosowanych rozwiązań technicznych i organizacyjnych oraz powinna być skojarzona z prowadzoną w szpitalach statystyką zakażeń umożliwiającą określenie ryzyka zakażeń w różnych oddziałach, a nawet w konkretnych salach operacyjnych lub innych pomieszczeniach szpitala. Wzrost ryzyka zakażeń powinien uruchamiać procedurę dodatkowych kontroli czystości mikrobiologicznej.

W wielu szpitalach niestety nie prowadzi się rzetelnych statystyk zakażeń szpitalnych. Podawane przez szpitale wskaźniki są często znacznie lepsze od tych jakie uzyskuje się na podstawie długotrwałych, systematycznych badań naukowych prowadzonych w szpitalach o najwyższym poziomie higieny, w których zabiegi wykonuje się w pomieszczeniach sterylnych z przepływem laminarnym, a personel ubiera się w „kosmiczne" kombinezony ograniczające emisję zanieczyszczeń.

W praktyce w polskich szpitalach badania czystości mikrobiologicznej przeprowadza się w odstępach rocznych lub kwartalnych, a w przypadkach szczególnych nawet co miesiąc. Większość badań przeprowadza się wyłącznie metodą sedymentacyjną.

6.6 Procedury nadzoru czystości mikrobiologicznej sali operacyjnej

Procedura nadzoru czystości mikrobiologicznej sal operacyjnych nie ogranicza się tylko do badań czystości mikrobiologicznej powietrza. W wielu krajach przepisy wymagają dodatkowego wykonywania badań czystości pyłowej powietrza. Zaleca się również okresową kontrolę wydajności wentylacji, różnicy ciśnień itd.
Stosowane w szpitalach procedury nadzoru czystości mikrobiologicznej powietrza w salach operacyjnych muszą uwzględniać specyficzne właściwości techniczne zastosowanych tam instalacji klimatyzacji-wentylacji. Istotne znaczenie ma tu monitorowanie i automatyczna regulacja nadciśnienia i przepływu powietrza, sposób rozdziału powietrza itd.
Np. kontrolę nadciśnienia panującego w sali operacyjnej lub przepływu powietrza w systemie bez automatycznej regulacji nadciśnienia i przepływu należy przeprowadzać bardzo często z uwagi na znaczne zmiany wydajności instalacji związane z postępującym w czasie zabrudzeniem filtrów powietrza. Rzadziej kontrolę tą można wykonywać w systemach wyposażonych w automatyczną regulację nadciśnienia i przepływu, a w systemach ze zdalnym nadzorem, w których nadciśnienie i przepływ są monitorowane w sposób ciągły, niebezpieczeństwo powstania niezauważonego przez obsługę techniczną zaniku nadciśnienia lub zmiany wydajności nawiewu jest najmniejsze.

6.7 Od teorii do praktyki. Przykład nadzoru jakości powietrza w salach operacyjnych w Szpitalu Specjalistycznym w Kościerzynie

Szpital Specjalistyczny w Kościerzynie jest wyposażony w nowoczesne systemy klimatyzacji-wentylacji sal operacyjnych umożliwiające utrzymanie odpowiednich parametrów fizycznych powietrza (temperatura, wilgotność). Systemy te zapewniają dostarczanie w odpowiedniej ilości czystego powietrza, automatycznie utrzymują zadaną krotność wymian i gradację ciśnienia pomiędzy poszczególnymi pomieszczeniami bloku operacyjnego. Sterylność powietrza realizowana jest poprzez trzystopniowy układ filtracji, z których ostatni stopień stanowią filtry absolutne umieszczone w stropach laminarnych.

W początkowym okresie działalności szpitala badania czystości mikrobiologicznej powietrza w salach operacyjnych wykonywano metodą sedymentacyjną.

Wprowadzenie pomiarów czystości powietrza nawiewanego pozwoliło na wyciągnięcie wielu wniosków eksploatacyjnych. Pomiary przeprowadza się metodą zderzeniową, miernikiem z wymiennymi płytkami RODAC z podłożem TSA (Tryptic Soy Agar) (rys. 28) , w pustej sali, przy pełnej wydajności instalacji klimatyzacji-wentylacji.

Jakość powietrza nawiewanego jest badana dla każdego filtra absolutnego z zestawu znajdującego się w stropie laminarnym. Wymaga to zdjęcia tzw. laminatora. Dzięki tym badaniom można stwierdzić stopień „zużycia mikrobiologicznego" filtrów lub występowanie nieszczelności w ich strefie. Dzięki wykonanym pomiarom czystości mikrobiologicznej powietrza stwierdzono, że filtry z różnych firm o tym samym stopniu filtracji są różnej jakości i oczyszczają powietrze w różnym stopniu.

Stwierdzono również pogarszanie się czystości powietrza nawiewanego z czasem eksploatacji filtrów. Np. nowe filtry pozwalają uzyskać stężenie zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza nie przekraczające 5 JTK/m^3, a po rocznej eksploatacji stężenie to może wynosić nawet 70 JTK/m^3, pomimo że filtry nie osiągnęły jeszcze końcowego spadku ciśnienia wskazanego przez producenta. Po wymianie zużytych filtrów stężenie zanieczyszczeń znowu wraca do bardzo niskiego poziomu. Potwierdzałoby to hipotezę, że przyczyną tego wzrostu stężenia zanieczyszczeń nie jest brudna instalacja, lecz wadliwe działanie filtrów wynikające ze zmniejszenia skuteczności filtracji lub rozwoju mikroorganizmów na bardzo dużej powierzchni filtrów absolutnych.

Na podstawie badań przeprowadzonych bezpośrednio pod stropem laminarnym, z założonym laminatorem, stwierdzono, że czyszczenie i dezynfekcja laminatora powietrza oraz skrzynki rozprężnej stropu ma duży wpływ na czystość nawiewanego powietrza.

Rys. 28 Płytka RODAC z podłożem TSA [29]

Okresowe badanie czystości mikrobiologicznej nawiewanego powietrza jest jednocześnie ostateczną kontrolą skuteczności przeprowadzanych zabiegów eksploatacyjnych, konserwacji, zabiegów higienicznych, przeglądów i napraw oraz stanu filtrów instalacji klimatyzacji-wentylacji.

Stwierdzenie wystarczającej czystości powietrza nawiewanego daje podstawę do wstępnego określenia klasy czystości mikrobiologicznej powietrza w sali, ponieważ istnieje szereg innych, opisanych powyżej czynników mających wpływ na czystość mikrobiologiczną powietrza w sali podczas zabiegów.

Dla potwierdzenia tej wstępnej klasyfikacji należałoby przeprowadzać po kilka serii pomiarów zanieczyszczenia powietrza przy wyciągach, podczas różnego rodzaju zabiegów operacyjnych, ale badań tych nie prowadzi się z uwagi na ich dużą pracochłonność.

Istotnymi czynnikami mającymi duży wpływ na czystość powietrza jest zachowanie wymaganej ilości wymian oraz relacji ciśnień między pomieszczeniami. Istniejący w szpitalu system automatycznej regulacji tych parametrów pozwala również na ich ciągły monitoring.

7. Edukacja personelu technicznego i medycznego szpitali

Błędna ocena zadań jakie spełniają specjalistyczne systemy klimatyzacji-wentylacji w szpitalach, nieznajomość warunków ich prawidłowej eksploatacji, oraz nieznajomość czynników decydujących o zachowaniu czystości mikrobiologicznej sal operacyjnych powodują często obniżenie klasy czystości mikrobiologicznej tych pomieszczeń.
Dotyczy to zarówno personelu technicznego i medycznego szpitali.
Przedstawiane w literaturze fachowej zalecenia uwzględniają część wymogów związanych z czystością mikrobiologiczną powietrza. Przykładem mogą tu być ogólne zalecenia przygotowania zespołu sali operacyjnej [3, 19]:

- cały personel sali operacyjnej, nie tylko zespół biorący bezpośredni udział w zabiegu, obowiązuje stosowanie ubioru operacyjnego, przykrywającego jak największą powierzchnię ciała. Należy pamiętać, że ze skóry człowieka złuszcza się codziennie około 10^9 komórek nabłonkowych, a wiele z nich ma na swojej powierzchni mikroorganizmy;
- skóra rąk personelu musi być zdrowa, pozbawiona zmian skórnych, chorobowych uniemożliwiających skuteczne mycie i dezynfekcję rąk. Natomiast same ręce bez biżuterii, długich często pomalowanych lub sztucznych paznokci, które uniemożliwiają prawidłowe przygotowanie rąk personelu do zabiegu operacyjnego;
- przed każdym zabiegiem operacyjnym należy przeprowadzić chirurgiczne mycie i dezynfekcję rąk, pamiętając aby przy pierwszym myciu w danym dniu operacyjnym użyć jałowej szczotki tylko do mycia paznokci;
- rękawiczki używane na bloku operacyjnym muszą być dobrej jakości (na skutek nieuwagi około 10% rękawic ulega uszkodzeniu w czasie zabiegów);
- właściwa kolejność zabiegów pod kątem czystości pola operacyjnego i prawidłowe przygotowanie pola (dezynfekcja i obłożenie) ma bezpośrednie przełożenie na zminimalizowanie ryzyka wystąpienia zakażenia miejsca operowanego;

- utrzymywanie jałowości pola operacyjnego przez cały czas trwania zabiegu;
- aby ograniczyć ruch pomiędzy salą operacyjną a sąsiednimi pomieszczeniami oraz zamykanie i otwieranie drzwi przed rozpoczęciem zabiegu należy upewnić się, że wszystkie potrzebne urządzenia i narzędzia chirurgiczne znajdują się na właściwym miejscu.

Jednak wskazane byłoby rozwinięcie i uzupełnienie zaleceń przedstawianych w literaturze medycznej w rozmiarze umożliwiającym pełne wykorzystanie potencjalnych, wysokich parametrów higienicznych współczesnych sal operacyjnych. Poniżej w kilku punktach rozwinięto ten temat.

1) Podstawowe zadanie klimatyzacji-wentylacji w salach operacyjnych

W szpitalach spotkać się jeszcze można z niedoinformowaniem personelu medycznego odnośnie funkcji, jakie pełnią specjalistyczne instalacje klimatyzacji-wentylacji w szpitalu. Często uważa się, że klimatyzacja wytwarza wyłącznie przyjemny mikroklimat, a przy tym same instalacje klimatyzacji stanowią dodatkowe zagrożenie mikrobiologiczne. Zaniedbuje się najistotniejszą funkcję klimatyzacji-wentylacji w szpitalu tzn. oczyszczanie powietrza z zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Zaniedbuje się fakt, że sprawnie działające, nowoczesne instalacje klimatyzacji-wentylacji sal operacyjnych kilkaset razy obniżają stężenie zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza. W związku z tym dochodzi nieraz do nieracjonalnych zachowań osób odpowiedzialnych za przygotowanie sal do zabiegów. Np. w salach otwiera się okna lub drzwi dla przewietrzenia i oczyszczenia powietrza nie licząc się z tym, że powietrze zewnętrzne jest bardziej zanieczyszczone od powietrza w sali, w której działa klimatyzacja-wentylacja. Bywa i tak, że zabiegi przeprowadza się przy otwartych oknach, w których jedynym zabezpieczeniem przed zanieczyszczeniami są siatki chroniące przed owadami. Otwarte drzwi sali operacyjnej również uniemożliwiają zachowanie warunków sterylnych nawet przy prawidłowo działającej klimatyzacji-wentylacji.

2) Personel medyczny największym źródłem zanieczyszczeń powietrza podczas zabiegu

Podstawowym źródłem zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza w bloku operacyjnym są przebywający tam ludzie. Wszystkie osoby wchodzące do pomieszczeń strony czystej bloku operacyjnego zobowiązane są do całkowitego przebrania się. Osoba, która weszła do sali operacyjnej bez wcześniejszego przygotowania emituje olbrzymią ilość zanieczyszczeń mikrobiologicznych rozprzestrzeniających się w całej sali wraz z poruszającym się powietrzem. Ryzyko wystąpienia zakażenia zwiększa się, gdy w zabiegu operacyjnym uczestniczy personel ze zmianami chorobowymi skory, objawami zakażenia ze strony układu pokarmowego czy oddechowego. Poza ogólnymi wytycznymi dotyczącymi przygotowania zespołu operacyjnego personel musi być regularnie szczepiony przeciwko WZW typu B, zgodnie z obowiązującymi w jednostce procedurami.

3) Pacjent źródłem zanieczyszczeń powietrza

Emitowane przez pacjenta zanieczyszczenia mikrobiologiczne nie powinny docierać do pola operacyjnego. Właściwe przygotowanie pacjenta do zabiegu operacyjnego zmniejsza ryzyko zanieczyszczenia powietrza w sali operacyjnej.

Pacjent powinien przebywać jak najkrócej przed zabiegiem operacyjnym w szpitalu, powinien być całkowicie zdiagnozowany w warunkach ambulatoryjnych po to, aby do minimum ograniczyć jego kolonizację florą szpitalną. Niestety nie zawsze jest to możliwe, w takim przypadku należy pamiętać o oddzieleniu pacjentów oczekujących na zabieg od tych którzy są po operacji. Kiedyś przygotowanie pola operacyjnego polegało na goleniu w dniu poprzedzającym zabieg. Dzisiaj należy dążyć do tego, żeby usunięcie owłosienia ze skóry pola operacyjnego było wykonane bezpośrednio przed zabiegiem, co ma na celu zminimalizowanie ryzyka namnażania się drobnoustrojów na skórze pola operacyjnego przed jej dezynfekcją.
Wykazano, że na częstość zakażeń miejsca operowanego ma wpływ sposób depilacji skóry; wyraźnie wyższy jest podczas golenia i niższy przy użyciu kremów depilujących (mniejsze uszkodzenie naskórka). Należy pamiętać, aby wcześniej wykonać dokładną higienę całego ciała pacjenta z wykorzystaniem środków antyseptycznych lub mydła przeciwbakteryjnego.
Częstość zakażeń w czystym polu u chorego , który nie był kąpany wynosi 2,3%, natomiast u mytego mydłem 2,1%, zaś u kąpanego z użyciem środka antyseptycznego – 1,3% [5]. Kolejnym istotnym elementem w przygotowaniu skóry do zabiegu jest jej dezynfekcja - użycie właściwego preparatu dezynfekcyjnego oraz przestrzeganie czasu jego działania (wg zaleceń producenta).

4) Źródła ciepła zakłócają proces ukierunkowanej cyrkulacji powietrza w sali operacyjnej

Szczególnie dotyczy to sal wyposażonych w nawiewy laminarne.
Źródła ciepła, takie jak np. lampy bezcieniowe, aparatura medyczna, gorące grzejniki CO powodują powstawanie obszarów burzliwego przepływu powietrza porywającego i roznoszącego zanieczyszczenia w nieprzewidywalny sposób. Lampy bezcieniowe powinny być umieszczane nie ponad osobami, ponieważ umieszczone w taki sposób powodują unoszenie zanieczyszczeń ku górze, które w konsekwencji spływają do obszaru chronionego i mogą stać się przyczyną zakażeń. Ponadto w strumieniu laminarnym powietrza pod lampą bezcieniową tworzy się „dziura" - obszar o zwiększonym stężeniu zanieczyszczeń. Inne źródła ciepła powinny mieć ograniczoną moc i w miarę możliwości powinny być oddalone od pola operacyjnego.

5) Planowanie zabiegów operacyjnych

Zaleca się, aby w szpitalach istniały wydzielone sale operacyjne septyczne, aseptyczne i o bardzo wysokiej aseptyce. W przepisach mówi się nawet o nie przenikających się strefach septycznych, aseptycznych i o bardzo wysokiej aseptyce. Przy czym to wydzielenie ma dotyczyć zarówno strony technicznej (oddzielne instalacje klimatyzacji-wentylacji), jak i organizacyjnej.
Zabiegi planuje się często niezgodnie z zaprojektowanym standardem higienicznym sal kierując się błędnym poglądem, że stopień czystości mikrobiologicznej sali operacyjnej zależy przede wszystkim od czynników organizacyjnych ewentualnie od stosowania szczególnych zabiegów higienicznych. Pomija się zróżnicowane i bardzo istotne dla zachowania założonego standardu mikrobiologicznego następujące parametry techniczne:

- relacje ciśnień pomiędzy pomieszczeniami,
- wydajność instalacji klimatyzacji,
- sposób rozdziału powietrza,
- wielkość obszaru chronionego w sali operacyjnej.

Planowanie zabiegów niezgodne z zaprojektowanym standardem mikrobiologicznym sal operacyjnych zwiększa ryzyko powstawania infekcji oraz może powodować rozprzestrzenianie niebezpiecznych drobnoustrojów w całym bloku operacyjnym. Wymuszone przez klimatyzację przepływy powietrza między pomieszczeniami mogą się do tego przyczynić.

Kolejność zabiegów jest również istotna. Planowanie zabiegów w kolejności zwiększającej się emisji zanieczyszczeń (zabiegi czyste przed brudnymi) zmniejsza ryzyko infekcji.

Zabiegi, które podejrzewa się, że będą zabiegami septycznymi, powinno się zaznaczyć w programie operacyjnym i wykonać jako ostatnie w danej sali operacyjnej. Jeżeli mamy do czynienia z kilkoma pacjentami, ze schorzeniami objawowymi, można zaplanować kolejno zabiegi w tej samej sali. W wielu placówkach Służby Zdrowia na bloku operacyjnym jest wydzielona jedna sala, tzw. „septyczna". Zdania na temat wydzielenia sal septycznych są podzielone, często zdarza się powtarzać stwierdzenie, że rzadko są wykorzystywane i podrażają koszty bloku operacyjnego i że najważniejsze znaczenie ma skuteczna dekontaminacja jako jeden ze sposobów przerywania dróg szerzenia zakażeń. Nie zawsze można przewidzieć jaka będzie emisja zanieczyszczeń podczas zabiegu. Z uwagi na to, że każdy pacjent jest potencjalnie zakaźny, każda sala operacyjna może w każdej chwili być salą septyczną [3].

6) Zabiegi higieniczne

Zanieczyszczenia mikrobiologiczne ze wszystkich powierzchni są przenoszone wraz z poruszającym się powietrzem i docierają również do pola operacyjnego.

Czystość sali operacyjnej ma bezpośrednie przełożenie na czystość powietrza. Nowoczesne sale operacyjne są pozbawione okien, kaloryferów, które szczególnie w okresie grzewczym stanowią siedlisko kurzu. Z reguły mamy do czynienia z powierzchniami łatwo zmywalnymi, które pozwalają utrzymać wysoki poziom czystości w pomieszczeniach bloku operacyjnego. Wyróżnia się dwa rodzaje czynności higienicznych wykonywanych na bloku operacyjnym. Zalicza się do nich: sprzątanie profilaktyczne, wykonywane między zabiegami operacyjnymi oraz gruntowne, czyli szczegółowe mycie i dezynfekcję sal po zakończonych zabiegach w danym dniu operacyjnym.

Sprzątanie profilaktyczne ma na celu przygotowanie sali do kolejnego zabiegu.

Obejmuje następujące czynności [3]:

- usuniecie brudnych narzędzi,
- usunięcie worków z bielizną pooperacyjną,
- usunięcie odpadów pooperacyjnych,
- jeśli istnieje taka możliwość wywiezienie stołu operacyjnego poza salę operacyjną i jego dezynfekcja,
- umycie i zdezynfekowanie stolików narzędziowych oraz pozostałych powierzchni z widocznym zabrudzeniem,
- zakończenie myciem i dezynfekcją podłogi w sali.

Sprzątanie gruntowne ma na celu dokładne usunięcie zanieczyszczeń ze wszystkich powierzchni sali operacyjnej i powinno uwzględniać:
- usunięcie brudnych narzędzi, bielizny pooperacyjnej, odpadów,
- wywiezienie stołu operacyjnego i usunięcie sprzętu, który będzie utrudniał dostęp do powierzchni, które należy umyć i zdezynfekować,
- pozostały sprzęt należy przesunąć na środek sali,
- mycie należy zacząć od powierzchni pionowych, potem powierzchnie poziome począwszy od obrzeży sali, poprzez sprzęt ustawiony na środku do podłogi.

W każdym przypadku mycia i dezynfekcji pomieszczeń bloku operacyjnego należy pamiętać, aby mycie i dezynfekcję wykonywać ściśle wg określonego planu higieny, pamiętając o prawidłowości stosowania środków dezynfekcyjnych. Istotne jest prawidłowe przygotowanie roztworów środków dezynfekcyjnych oraz przestrzeganie ich czasu działania. Kolejna rzecz, to sposób użycia sprzętu do sprzątania, czyli przestrzeganie kolorystyki ścierek do wcześniej ustalonego rodzaju powierzchni oraz przy myciu i dezynfekcji podłogi należy pamiętać o przestrzeganiu „zasady jednego mopa". Czyli po wykonaniu jednego zygzakowatego ruchu mop musi być wymieniony na czysty. Niestety bardzo często zdarza się, że sprzątanie profilaktyczne ogranicza się do usunięcia narzędzi, bielizny, odpadów i umycia podłogi, ponieważ „nie ma czasu i pacjent czeka". Podobnie, jeśli chodzi o sprzątanie gruntowne i w takich przypadkach dochodzi do łamania zasad prawidłowego mycia i dezynfekcji. Należy pamiętać, że wejście ekipy naprawiającej usterkę w sali operacyjnej, dyskwalifikuje salę z użycia, pomimo przebrania się personelu technicznego w odzież obowiązującą na bloku operacyjnym [3].

7) Poszerzone badania czystości mikrobiologicznej
Metoda sedymentacyjna badania czystości mikrobiologicznej powietrza w salach operacyjnych nie daje wiarygodnych wyników. Dla zwiększenia ich wiarygodności konieczne jest zastosowanie metody filtracyjnej lub zderzeniowej oraz zastosowanie procedur pomiarowych uwzględniających fizyczne podstawy zjawiska emisji oraz usuwania zanieczyszczeń przez systemy klimatyzacji-wentylacji.

8) Kontrola zakażeń
Niskie ryzyko infekcji określone na podstawie rzetelnie prowadzonych statystyk zakażeń szpitalnych jest ostatecznym potwierdzeniem skuteczności wszystkich zabiegów medycznych, higienicznych, organizacyjnych i technicznych zmierzających do ograniczenia liczby zakażeń.

8. „Na nic nie ma pieniędzy"

Zapewnienie wszystkich omówionych w tym artykule środków umożliwiających podniesienie standardów czystości mikrobiologicznej wiąże się niestety z wyższymi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi.
Brak szczegółowej wiedzy u decydentów, personelu i pacjentów o wpływie czystości mikrobiologicznej na ryzyko powstawania infekcji powoduje preferowanie usług tańszych, ale często niebezpiecznych.
Nie bierze się tu pod uwagę zarówno aspektu etycznego związanego z cierpieniem

osób zakażonych jak i olbrzymich kosztów ich leczenia, przekraczających nakłady, jakie należałoby ponieść na podniesienie standardów higienicznych. Dawno udowodnione twierdzenie ”profilaktyka ważniejsza od leczenia” nie znajduje tu praktycznego zastosowania.

9. Literatura

[1] Charkowska A.: Nowoczesne systemy klimatyzacji w obiektach służby zdrowia. Wyd. MASTA, Gdańsk 2000
[2] Charkowska A.: Zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego – personel medyczny i pacjenci. „Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna”, Nr 9/2002, str. 359-364
[3] Ciuruś M.J.: Pielęgniarstwo operacyjne, Wyd. Adi, Łódź 1998
[4] Drewniak E. i T.: Mikrobiologia żywności, WSIP Warszawa 1999
[5] Dzierżanowska D., Jeljaszewicz J: Zakażenia szpitalne, Wyd. α-medica press, Bielsko Biała 1999
[6] Fleischer M., Bober-Gheek B.: Podstawy pielęgniarstwa epidemiologicznego. Centrum Kształcenia Podyplomowego Pielęgniarek i Położnych, Warszawa 2002
[7] Gomułka W. i Rewerski W.: Encyklopedia Zdrowia. Tom I i II, wyd. ósme. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000
[8] Hryniewicz W., Meszaros J.: Antybiotyki w profilaktyce i leczeniu zakażeń. Wyd. Lek. PZWL, 2001, 2002 Warszawa
[9] Jarosiewicz G.: Blok operacyjny. Bezpieczeństwo pracy i ochrona zdrowia pracowników. Wydano na zlecenie Głównego Inspektoratu Pracy, Warszawa 2003 (http://www.pip.gov.pl)
[10] Kaiser K.: Zanieczyszczenia instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych a jakość powietrza w obiektach szpitalnych. „Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna”, Nr 4/2004, str. 116-123
[11] Kruczkowski P., Kolendarski W., Sikorski J.: Wytyczne projektowania szpitali ogólnych. Instalacje sanitarne. Zeszyt piąty. Wentylacja i klimatyzacja. Biuro Projektów Służby Zdrowia, Warszawa 1984
[12] Kryszka B.: Klimatyzacja pomieszczeń czystych w szpitalach. „Instal”, Nr 2/99, str. 22-25
[13] Leśny M.: Wymagania stawiane urządzeniom uzdatniającym powietrze dla pomieszczeń szpitalnych. „Ogrzewnictwo Praktyczne”, Nr 4/1999, str. 33-35
[14] Lidwell i in.: Effect of ultraclean air in operating rooms on deep sepsis in the joint after total hip or knee replacement: a randomised study, 1982 Jul 3; 285 (6334): 10-4
[15] Marcinkowski J.T.: Podstawy higieny, Volumed Wrocław 1997
[16] Olson M. M., Lee J. T.: Continous, 10-year wound infection surveillance results, advantages, andunanswered questions. Arch. Surg., 1990, 125, 794-803
[17] Porowski M., Szczechowiak E.: Klimatyzacja pomieszczeń czystych. Wyd. Termedia, Poznań 1999
[18] Staszkiewicz W., Hryniewicz W., Grzesiowski P., Ozorowski T.: Zbiór rekomendacji i procedur kontroli zakażeń szpitalnych. Fundacja Centrum Mikrobiologii Klinicznej, Warszawa 2000
[19] Wenzel R., Edmond M., Pittet D., Devaster J. M. i inni: Kontrola zakażeń szpitalnych. Wydanie pierwsze. Ośrodek Wydawniczy “Augustana”, Bielsko-Biała 1999
[20] Wolski A.: Nowoczesne systemy klimatyzacji i wentylacji w szpitalach – uwagi o teorii i praktyce eksploatacji. Cz. 1. „Instal”, Nr 7-8/2003, str. 42-52
[21] Wolski A.: Nowoczesne systemy klimatyzacji i wentylacji w szpitalach – uwagi o teorii i praktyce eksploatacji. Cz. 2. „Instal”, Nr 9/2003, str. 76-85
[22] Wolski A.: Nowoczesne systemy klimatyzacji i wentylacji w szpitalach – uwagi o teorii i praktyce eksploatacji. Cz. 3. „Instal”, Nr 10/2003, str. 28-35
[23] http://www.admeco.ch/produkte/
[24] http://www.alga-bis.com.pl/grafika/kol/inne/inne.php3?indeks=1
[25] http://www.blygold.de/leistungen/raumluft.html
[26] http://www.cadillacpostcards.com/html/mercy_operatingrm.html
[27] http://www.healthpro.com.au/healthcare.htm
[28] http://www.wentylacja.com.pl/aktualnosci.asp?ID=1967
[29] Materiały fotograficzne: Kaiser K.
[30] Materiały fotograficzne: Wolski A., Kaiser K.
[31] Materiały Weiss Klimatechnik GmbH. Schmidt P.: Zur Luftführung in Operationsräumen. Gegenüberstellung und Bewertung des erzielbaren Luftkeimpegels.