ROCZN. PZH 2011, 62, Nr 1, 109 - 113

CZYSTOŚĆ MIKROBIOLOGICZNA POWIETRZA W SZPITALU. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA STĘŻENIE MIKROORGANIZMÓW W POWIETRZU SAL OPERACYJNYCH

MICROBIOLOGICAL QUALITY OF HOSPITAL INDOOR AIR. DETERMINANT FACTORS FOR MICROBIAL CONCENTRATION IN AIR OF OPERATING THEATRES

Adam Krogulski, Maciej Szczotko

Zakład Higieny Komunalnej
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego - Państwowy Zakład Higieny, Warszawa

Słowa kluczowe: *klimatyzacja, ogólna liczba bakterii w powietrzu, ogólna liczba grzybów w powietrzu, szpitale, sale operacyjne*
Key words: *air-conditioning, total number of bacteria in the air, total number of fungi in the air, hospitals, operating theatres*

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów stężenia bakterii i grzybów w powietrzu sal operacyjnych tuż przed operacją, w czasie operacji i bezpośrednio po jej zakończeniu. W oparciu o wyniki badań przeprowadzonych okresie zimnym i ciepłym dokonano oceny wpływu stężenia mikroorganizmów w powietrzu atmosferycznym na ich stężenie w powietrzu sali operacyjnej. Szukano również przyczyn zdecydowanie za wysokiego stężenia bakterii w powietrzu znacznej liczby klimatyzowanych sal operacyjnych. Na podstawie analizy wyników z równolegle wykonanych oznaczeń stężenia mikroorganizmów w powietrzu atmosferycznym wykluczono aby tą przyczyną były niesprawne filtry.

ABSTRACT

Foregoing research presents results of total number of bacteria and fungi assays carried out in air of operating theatres before, during and directly after planned surgical procedure. Basing on the results obtained in winter and summer, the assessment of bacteria and fungi concentration in atmospheric air impact on microbial quality of air inside of operating theatre was elaborated. Investigation of the reason of high concentration of bacteria in air inside of operating rooms was conducted simultaneously. Presented results of microbial air purity collected from atmospheric air in parallel with indoor air demonstrated that air filters applied in air-conditioning system worked correctly and bacterial contamination of air had different reasons.

WSTĘP

Działania podejmowane w celu wyleczenia chorych mogą być również przyczyną wtórnych zakażeń. Mimo stałego postępu nauki i techniki zakażenia te stanowią obecnie najpoważniejszy problem zdrowia publicznego [1]. W każdym z państw Unii Europejskiej problem ten dotyczy ok. 5-10% hospitalizowanych pacjentów [1]. W ramach kompleksowych działań mających na celu obniżenie ryzyka wystąpienia zakażeń wewnątrz szpitalnych wdrażane są liczne procedury i instrukcje [5]. Jednym z kierunków działania jest dążenie do ograniczenia kontaktu pacjentów z mikroorganizmami chorobotwórczymi znajdującymi się w powietrzu. Jedynym pewnym sposobem, na zapewnienie w pomieszczeniach szpitalnych powietrza o niskim stężeniu mikroorganizmów jest stosowanie systemów wentylacji/klimatyzacji o dużej wydajności. Takie systemy zostały w czasie ostatnich kilku latach zamontowane w wielu polskich szpitalach.

Niepokój budzą jednak zastrzeżenia zgłaszane przez inżynierów biorących bezpośredni udział w projektowaniu, budowie i eksploatacji systemów wentylacji/ klimatyzacji w szpitalach. Dotyczą one między innymi posiadania odpowiedniej wiedzy i wykazywania

Adres do korespondencji:Adam Krogulski, Zakład Higieny Komunalnej, Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego - Państwowy Zakład Higieny, 00-791 Warszawa, ul. Chocimska 24, tel. 22 54 21 304, faks 22 54 21 287 ,
e-mail: akrogulski@pzh.gov.pl

© Copyright Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego - Państwowy Zakład Higieny

dbałości o prawidłową eksploatację instalacji wentylacji/klimatyzacji przez administratorów szpitali oraz pracowników pionu technicznego i personelu medycznego [2].

W pracy szukano zależności między stężeniem mikroorganizmów w powietrzu klimatyzowanych i nie klimatyzowanych sal operacyjnych od ich stężenia w powietrzu atmosferycznym. Szukano również przyczyn wysokiego stężenia mikroorganizmów w powietrzu wielu sal operacyjnych wyposażonych w systemy klimatyzacyjne.

MATERIAŁY I METODY

W pracy wykorzystano wyniki pomiarów stężenia bakterii i grzybów w powietrzu pomieszczeń szpitalnych wykonywanych przez pracowników Zakładu Higieny Komunalnej PZH od 2001 r. Badane nie klimatyzowane sale operacyjne to pomieszczenia wyposażone w wentylację grawitacyjną albo mechaniczną bez filtrów powietrza lub wyposażoną w filtry o niskiej sprawności. Wszystkie klimatyzowane sale operacyjne, uwzględnione w badaniu, były wyposażone w trzystopniowy system filtracji powietrza z nawiewem laminarnym i zamontowanymi w sali operacyjnej filtrami klasy EU13.

W czasie wszystkich pomiarów wykonanych w salach operacyjnych powietrze pobierano przy ścianach.

Przy pomiarze stężenia mikroorganizmów w powietrzu stosowano następujące podłoża: 1.) Malt extract agar firmy Oxoid o pH 5,4 ± 0,2 zalecane do wykrywania, izolacji i liczenia grzybów, drożdży i pleśni. 2.) TSA – Tryptone soya agar firmy Oxoid o pH 7,3 ± 0,2, podłoże bogate w składniki odżywcze, na którym rośnie wiele gatunków bakterii.

Aparaty stosowane do kontroli mikrobiologicznej powietrza: Micro Bio (Air sampler MB 1 plus) firmy De Ville i mikrobiologiczny próbnik powietrza MAS – 100 (nowa wersja 2001r). Oba aparaty pracują w oparciu o metodą zderzeniową, przy czym MB 1 osadza materiał na płytkach typu Rodac Ø 55 mm, a MAS – 100 na powszechnie używanych w mikrobiologii płytkach Ø 90 mm. Oba aparaty posiadają głowice z otworami (dyszami). Powietrze przechodzące przez jeden otwór trafia w jeden osobny punkt na pożywce. Do korekcji wyniku zaniżonego w przypadku trafienia dwóch lub więcej jtk (jednostek tworzących kolonie) w jeden punkt używano poprawkę według wzoru *Fellera:*

$$Pr = N[1/N + 1/N\text{-}1 + 1/N\text{-}2 + ... + 1/N - r + 1]$$

Pr- wynik po korekcji,
N – liczba otworów w głowicy aparatu,
r – liczba kolonii na płytce.

Na płytkę z podłożem do liczenia bakterii lub grzybów osadzano mikroorganizmy z różnych objętości powietrza. Gdy liczba kolonii bakterii wyrosłych na jednej płytce przekraczała 140, a kolonii grzybów 70, przyjmowano, że wyliczone wartości jtk/m^3 są zaniżone [3,4]. Przy każdym pomiarze zarówno bakterie jak i grzyby osadzano na dziesięciu płytkach. Płytki z podłożami agarowymi inkubowano odwrócone wieczkiem do dołu. Płytki z bakteriami osadzonymi na pożywce TSA umieszczano w cieplarce w temperaturze 30°C. Kolonie liczono po 48 h inkubacji. Płytki z osadzonymi grzybami i ich zarodnikami umieszczano w cieplarce w temperaturze 25°C. Codziennie począwszy od 48 h płytki z grzybami przeglądano i liczono rosnące kolonie. Liczenie przerywano wówczas, gdy w kolejnym dniu nie obserwowano przyrostu liczby kolonii.

WYNIKI I DYSKUSJA

Aby ocenić wpływ stężenia mikroorganizmów w powietrzu atmosferycznym na stężenie bakterii i grzybów w powietrzu nie klimatyzowanych sal operacyjnych zestawiono wyniki badań wykonywanych w okresie ciepłym z wynikami badań wykonywanych w styczniu i lutym. Stężenie mikroorganizmów w powietrzu atmosferycznym jest w lecie wyższe od stężenia w zimie, stężenie bakterii o kilkaset jtk/m^3, grzybów od kilkuset do kilku tysięcy jtk/m^3.

Tabela 1. Stężenie bakterii w powietrzu nie klimatyzowanych sal operacyjnych mierzone w lecie i w zimie
Bacteria concentration in air of operating theatres without air-conditioning system measured during summer and winter

Zima			Lato		
Lp.	Sala operacyjna jtk/m^3	K jtk/m^3	Lp.	Sala operacyjna jtk/m^3	K jtk/m^3
1.	430,0 199,0	101,0	1.	>1828,0 >1572,0	522,0
2.	540,0		2.	379,0 >1728,0	452,0
3.	436,0				
4.	438,0		3.	484,0 676,0	628,0
5.	269,0 422,0	69,3	4.	>1193,0	240,0
6.	112,7 1452,0	234,9	5.	894,0 942,0	480,0
			6.	912,0 >1056,0	352,0
$\bar{x}$	477,6	135,1	$\bar{x}$	>1041,85	470,40

K – stężenie bakterii w powietrzu atmosferycznym

Przedstawione wyniki wskazują na dominujący wpływ stężenia grzybów w powietrzu atmosferycznym na ich stężenie w powietrzu pomieszczeń nie klimatyzowanych (Tab. 2). Średnie stężenie grzybów w powie-

Tabela 2. Stężenie grzybów w powietrzu nie klimatyzowanych sal operacyjnych mierzone w lecie i w zimie
Fungi concentration in air of operating theatres without air-conditioning system measured during summer and winter

Zima			Lato		
Lp.	Sala operacyjna jtk/m³	K jtk/m³	Lp.	Sala operacyjna jtk/m³	K jtk/m³
1.	31,2	34,0	1.	122,8	>7880
2.	24,0		2.	182,8	
3.	10,4		3.	248,1	>5254,0
4.	27,8		4.	661,8	
5.	7,6		5.	635,8	844,8
6.	15,0	26,0	6.	349,3	
7.	51,3		7.	291,5	602,0
8.	31,2	68,4	8.	223,9	>1038,8
9.	34,0		9.	165,1	
			10.	170,0	468,0
			11.	157,0	
$\bar{x}$	25,8	42,8	$\bar{x}$	291,64	>2681,26

K – stężenie grzybów w powietrzu atmosferycznym

Tabela 3. Wyniki pomiaru stężenia bakterii i grzybów w powietrzu sal operacyjnych wyposażonych w prawidłowo działającą klimatyzację
Bacteria and fungi concentration in air of operating theatres with correctly working air-conditioning system

Liczba bakterii [jtk/m³]			Liczba grzybów [jtk/m³]	
Lp.	Sale	K	Sale	K
1.	118,7* 125,4**	322,7	0,0 0,0	42,7
2.	59,0* 66,5***	656,0	8,8 13,0	664,0
3.	106,8* 82,4** 95,6**	349,0	19,2 13,5 11,6	639,0
4.	96,0***	644,0	17,5	>5280,0
5.	81,5***	644,0	28,0	>5280,0
$\bar{x}$	90,5		12,4	

* pomiar wykonany przed operacją
** pomiar wykonany w czasie operacji
*** pomiar wykonany bezpośrednio po zakończeniu operacji
K- stężenie w powietrzu atmosferycznym

Tabela 4. Zmiany stężenia mikroorganizmów w powietrzu klimatyzowanych sal operacyjnych w okresie bezpośrednio przed, po i w czasie operacji
Changes of microbial concentration in air of operating theatres with correctly working air-conditioning system before, during and directly after surgical procedure

Liczba bakterii [jtk/m³]			Liczba grzybów [jtk/m³]	
Lp.	Sale	K	Sale	K
1	>1385,0* >1385,0** 686,0***	386,0	5,8 6,5 1,4	1975,0
2	1749,0* 774,0* 349,2**	46,7	0,0 0,0 0,4	72,0
3	990,0* 621,0***	80,0	2,0 1,0	316,0
4	539,2* 1306,0***	980,0	2,4 6,0	>2980
5	408,0* 196,4* 175,6**	46,7	1,0 0,0 0,4	72,0
6	335,3* 168,7**	zima	0,0 0,0	zima
$\bar{x}$	7397,9		**1,79**	

* pomiar wykonany przed operacją
** pomiar wykonany w czasie operacji
*** pomiar wykonany bezpośrednio po zakończeniu operacji
K- stężenie w powietrzu atmosferycznym

trzu sal operacyjnych jest ponad dziesięć razy wyższe w okresie ciepłym, w porównaniu z stężeniem w okresie zimowym. W zimie dzięki niskiemu stężeniu grzybów w powietrzu zewnętrznym ich stężenie w powietrzu nie klimatyzowanych sal operacyjnych obniża się i zbliża do wartości notowanych w pomieszczeniach klimatyzowanych w okresie ciepłym (kilka, kilkanaście jtk/m³). Zależność stężenia bakterii w powietrzu sal operacyjnych nie klimatyzowanych od ich stężenia w powietrzu atmosferycznym nie jest tak wyraźna jak w przypadku grzybów (Tab. 1). Tą różnicę łatwo wyjaśnić. W salach operacyjnych nie ma wewnętrznych źródeł zanieczyszczenia powietrza grzybami. Przenikają one z zewnątrz, najczęściej z powietrza atmosferycznego. W przeciwieństwie do grzybów dominującym źródłem bakterii w salach operacyjnych, nie jest powietrze atmosferyczne lecz przebywający w nich. ludzie

W salach nie klimatyzowanych mamy podobne stężenie mikroorganizmów w powietrzu pobieranym pod ścianami sali operacyjnej jak i w powietrzu stykającym się z polem operacyjnym.

W salach klimatyzowanych z nawiewem laminarnym powietrze napływające w pobliże pola operacyjnego przez filtry EU 13 zawiera wielokrotnie mniejsze stężenie mikroorganizmów od powietrza na obrzeżach sali [2]. W efekcie ochrona pola operacyjnego przed kontaktem z mikroorganizmami, zapewniona przez system klimatyzacji, jest znacznie skuteczniejsza niż wskazuje na to porównanie zamieszczonych w pracy wyników pomiarów wykonanych pod ścianami sal.

Filtry stosowane w systemach klimatyzacji sal operacyjnych nie są doskonałe. Nieobecność grzybów w objętości 0,5 m³ powietrza w sali operacyjnej stwierdzano jedynie w zimie przy niskim stężeniu grzybów w powietrzu atmosferycznym (sala 1, Tab. 3, sale 2 i 5, Tab. 4). Dodatkowo w czasie eksploatacji sprawność filtrów ulega obniżeniu. W okresie ciepłym, gdy stężenie grzybów w powietrzu atmosferycznym liczymy w tysiącach jtk/m³, wzrasta również prawdopodobieństwo przedostania się ich do sal operacyjnych wraz z powietrzem z sąsiadujących z nią pomieszczeń.

Utrudnia to wyciąganie na podstawie stężenia grzybów w powietrzu sali operacyjnej wniosków dotyczących sprawności obsługujących ją filtrów.

Wyniki badań wykonanych w salach operacyjnych o najniższym stężeniu mikroorganizmów w powietrzu przedstawiono w tabeli 3. W czasie operacji, stężenia bakterii i grzybów w powietrzu tych sal ulegały jedynie niewielkim zmianom. W oparciu o dane opublikowane przez *Kaisera* i *Wolskiego* [2] uznano, że klimatyzacja tych sal działa prawidłowo. W tabeli 4 przedstawiono wyniki oznaczeń wykonanych w salach w których stężenia bakterii i stężenia grzybów ulegały zmianom w czasie operacji. Niskie stężenia grzybów w powietrzu badanych sal wskazują na wysoką sprawność zamontowanych w nich filtrów. W salach 1, 2, i 3 stężenie bakterii przed zabiegiem było bardzo wysokie i mimo spadku w czasie zabiegu pozostało w czasie operacji wysokie. W sali 4 w czasie zabiegu stężenie bakterii w powietrzu ponad dwukrotnie wzrosło.

Wysokie (wyraźnie powyżej 100 jtk/m^3) stężenie bakterii zmierzone na obrzeżach klimatyzowanych sal operacyjnych może być wynikiem zbyt małej intensywności nawiewu powietrza uzdatnionego i/lub niekontrolowanego dopływu zanieczyszczonego powietrza z pomieszczeń sąsiednich. Nie musi ono świadczyć o zwiększonej liczbie bakterii docierających do pola operacyjnego, choć jest sygnałem że takie niebezpieczeństwo zachodzi.

Tabela 5. Stężenie mikroorganizmów w powietrzu pomieszczeń klimatyzowanych (sale operacyjne-1, 2 i gabinety zabiegowe - 3, 4) w szpitalu A
Microbial concentration in air of rooms with air - conditioning system in hospital A. 1, 2 - operating theatres, 3, 4 - treatment rooms

Lp.	Liczba bakterii jtk/m^3	K jtk/m^3	Lp.	Liczba grzybów jtk/m^3	K jtk/m^3
1.	990,0* 621,0***	80,0	1.	2,0* 1,0***	316,0
2.	423,0* 205,0***		2.	56,0* 28,0***	
3.	78,0** 75,0**		3.	9,0** 48,0**	
4.	55,0** 60,0**		4.	12,0** 47,0**	

* pomiar wykonany przed operacją
** pomiar wykonany w czasie operacji
*** pomiar wykonany bezpośrednio po zakończeniu operacji
K- stężenie w powietrzu atmosferycznym

Przy intensywnym nawiewie powietrza przechodzącego przez sprawne filtry, przedostawanie się z sąsiednich pomieszczeń zanieczyszczonego powietrza wydaje się być jedynym wyjaśnieniem wyników przedstawionych w tabeli 4 dla sal 1 - 4. Potwierdzeniem tego przypuszczenia wydają się być wyniki badań przeprowadzonych w jednym z szpitali. Mimo włączenia w czasie operacji intensywnego nawiewu powietrza przechodzącego przez filtr EU 13, stężenie bakterii nie uległo po trzech godzinach zabiegów obniżeniu poniżej 600 jtk/m^3. Równocześnie w „klimatyzowanym" pokoju instrumentariuszek znajdującym się w tym samym bloku operacyjnym oznaczono stężenie bakterii 1833,0 jtk/m^3. Tak duże, jak przedstawione w tabeli 4, zmiany stężenia bakterii w powietrzu sal operacyjnych podczas zabiegów świadczą o braku prawidłowej kontroli nad ich wentylacją.

Efekty niekontrolowanego (każdy w dowolnej chwili mógł otworzyć okno) napływu nie uzdatnionego powietrza do pomieszczeń klimatyzowanych zaobserwowano w szpitalu A. W 15 klimatyzowanych salach stężenie grzybów przekraczało 47,0 jtk/m^3, a w jednej z sal operacyjnych przed operacją wynosiło 56,0 jtk/m^3 (sala 1, Tab. 5). W dwóch salach zabiegowych w trakcie wykonywania zabiegów otwarto okna. To spowodowało w czasie kilkudziesięciu minut kilkakrotny wzrost stężenia grzybów w powietrzu (sale 3 i 4, Tab. 5). Filtry pracujące w szpitalu A zostały zamontowane w jednym terminie, a o ich wysokiej sprawności świadczy stężenie grzybów w sali operacyjnej 1 (Tab. 5). Otwieranie okien w salach klimatyzowanych pracownicy szpitala (na różnych oddziałach) tłumaczyli potrzebą wpuszczenia „świeżego powietrza" i wspomożenia systemu klimatyzacji.

WNIOSKI

1. Intensywny nawiew uzdatnionego powietrza pozwala na uniezależnienie stężenia mikroorganizmów w powietrzu sali operacyjnej od ich stężenia w powietrzu atmosferycznym
2. Filtry o wysokiej sprawności i eliminacja napływu zanieczyszczonego powietrza z pomieszczeń sąsiednich są warunkiem utrzymania niskiego stężenia bakterii i grzybów w powietrzu sal operacyjnych i innych pomieszczeń klimatyzowanych.
3. Wszyscy pracownicy szpitali muszą być zaznajomieni z celem działania systemu klimatyzacji i jego prawidłową obsługą.

PIŚMIENNICTWO

1. *Grzesiowski P.*: Zakażenia u bram. Menedżer Zdrowia 12/2007.
2. *Kaiser K., Wolski A.*: Klimatyzacja i wentylacja w szpitalach. Teoria i praktyka eksploatacji. IPPU MASTA Sp. z o.o., 2007.
3. *Krogulski A., Podsiadły T.*: Oznaczanie ogólnej liczby grzybów w powietrzu atmosferycznym i wewnątrz pomieszczeń. Roczn. PZH 2003, 54(4), 383-392.

4. *Krogulski A., Podsiadły T.*: Metody oznaczania ogólnej liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym i wewnątrz pomieszczeń. Roczn. PZH 2006, 57(1), 1-7.
5. *Mączyńska A., Kowalczyk P.*: Problem zakażeń szpitalnych. Menedżer Zdrowia 6/2003.

Otrzymano: 12.03.2010
Zaakceptowano do druku: 10.11.2010