

Małgorzata Kucharska
Wiktor Wesołowski

OCENA NARAŻENIA ZAWODOWEGO PERSONELU MEDYCZNEGO NA ANESTETYKI WZIEWNE W POLSCE

ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL EXPOSURE OF MEDICAL PERSONNEL
TO INHALATORY ANESTHETICS IN POLANDInstytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland
Zakład Bezpieczeństwa Chemicznego / Chemical Safety Department

STRESZCZENIE

Wstęp: Ocena narażenia zawodowego personelu sal operacyjnych w Polsce mimo powszechnego używania anestetyków wziewnych, takich jak tlenek diazotu (podtlenek azotu – N_2O), halotan, sewofluran itp. do 2006 r. nie była prowadzona. Sytuacja uległa zmianie z chwilą wprowadzenia wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS) dla stosowanych w Polsce anestetyków. Dla N_2O ustanowiono je w 2005 r., natomiast dla sewofluranu, dezfluranu i izofluranu w 2007 r. Celem pracy była ocena narażenia zawodowego personelu sal operacyjnych w oparciu o wiarygodne, jednolite procedury oznaczania anestetyków wziewnych. **Materiał i metody:** Opracowano i zwalidowano metody oznaczania wszystkich używanych w Polsce anestetyków, tj. tlenu diazotu, sewofluranu, izofluranu, dezfluranu i halotanu. W latach 2006–2010 przeprowadzono badania w 31 szpitalach całej Polski. Badaniami objęto 117 sal operacyjnych, pobierając próbki powietrza w strefie oddychania 146 lekarzy anesteziologów i 154 pielęgniarek, w większości anesteziologicznych. Pomiary prowadzono w czasie różnych zabiegów operacyjnych, w większości przy zabiegach na dorosłych pacjentach, ale także w szpitalach pediatrycznych. **Wyniki:** Średnie stężenia czasem ważone badanych anestetyków są bardzo zróżnicowane, przy czym największy rozrzut odnotowano w wynikach pomiarów N_2O – stężenia wahały się od 0,1 mg/m³ do 1438,5 mg/m³, z czego 40% wyników przekraczało wartość dopuszczalną. Przekroczenia wartości NDS obserwowano także dla halotanu (ale tylko w 3% przypadków) oraz sewofluranu (2%). **Wnioski:** Należy uznać, że praca w salach operacyjnych jest niebezpieczna dla zdrowia personelu. Współczynnik łącznego narażenia wyliczony na podstawie pomiarów stężeń anestetyków przekraczał dopuszczalną wartość w 130 przypadkach, co stanowi ponad 40% ogółu badanych. Najczęściej przekroczenia spowodowane były wysokimi stężeniami podtlenku azotu. Med. Pr. 2014;65(1):43–54

Słowa kluczowe: tlenek diazotu, sewofluran, halotan, dezfluran, izofluran, narażenie zawodowe

ABSTRACT

Background: Despite common use of inhalatory anesthetics, such as nitrous oxide (N_2O), halothane, sevoflurane, and the like, occupational exposure to these substances in operating theatres was not monitored in Poland until 2006. The situation changed when maximum admissible concentration (MAC) values for anesthetics used in Poland were established in 2005 for N_2O , and in 2007 for sevoflurane, desflurane and isoflurane. The aim of this work was to assess occupational exposure in operating rooms on the basis of reliable and uniform analytical procedures. **Material and Methods:** The method for the determination of all anesthetics used in Poland, i.e. nitrous oxide, sevoflurane, isoflurane, desflurane, and halothane, was developed and validated. The measurements were performed in 2006–2010 in 31 hospitals countrywide. The study covered 117 operating rooms; air samples were collected from the breathing zone of 146 anesthesiologists, and 154 nurses, mostly anaesthetic. The measurements were carried out during various surgical operations, mostly on adult patients but also in hospitals for children. **Results:** Time weighted average concentrations of the anesthetics varied considerably, and the greatest differences were noted for N_2O (0.1–1438.5 mg/m³); 40% of the results exceeded the MAC value. Only 3% of halothane, and 2% of sevoflurane concentrations exceeded the respective MAC values. **Conclusions:** Working in operating theatres is dangerous to the health of the operating staff. The coefficient of combined exposure to anesthesiologists under study exceeded the admissible value in 130 cases, which makes over 40% of the whole study population. Most of the excessive exposure values were noted for nitrous oxide. Med Pr 2014;65(1):43–54

Key words: nitrous oxide, sevoflurane, halothane, desflurane, isoflurane, occupational exposure

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Małgorzata Kucharska, Zakład Bezpieczeństwa Chemicznego, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, ul. św. Teresy od Dzieciątka Jezus 8, 91-348 Łódź, e-mail: mkuch@imp.lodz.pl
Nadesłano: 13 grudnia 2013, zatwierdzono: 21 stycznia 2014

WSTĘP

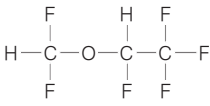
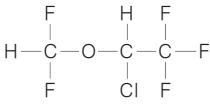
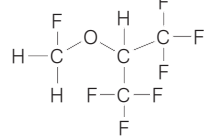
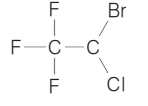
Pracownicy opieki medycznej różnych specjalności – lekarze anestezjodzy, chirurdzy, pielęgniarki, instrumentariuszki, pomoce pielęgniarskie, technicy sal operacyjnych, stomatolodzy, a także zespoły opieki poanestetycznej narażeni są na działanie stosowanych do narkozy anestetycznych środków wziewnych. Prowadzone w latach 70., 80. i 90. XX w. badania dostarczyły danych potwierdzających przypuszczenia, że gazy anestetyczne – szczególnie tlenek diazotu (podtlenek azotu – N_2O) – niekorzystnie wpływają na zdrowie personelu medycznego. Wykazano neurotoksyczne, embriotoksyczne, fetotoksyczne i teratogenne działanie tlenku diazotu, natomiast w przypadku ostrego zatrucia halotanem (2-bromo-2-chloro-1,1,1-trifluoroetanem) występowało działanie na ośrodkowy układ nerwowy, układ sercowo-naczyniowy, wątrobę i nerki (1).

Wykonane badania nie dostarczyły jednak jednoznacznych danych pozwalających ustalić zależność między skutkami zdrowotnymi wywołanymi naraże-

niem na anestetyki a poziomem narażenia w środowisku pracy. W literaturze przedmiotu nie ma bowiem wyników badań, w których ocena skutków zdrowotnych była wykonywana równoległe z prawidłowo przeprowadzonymi pomiarami stężeń anestetyków w powietrzu. Poziomy narażenia na anestetyki zależą od metody ich podawania, a wykazywane w publikacjach stężenie tlenku diazotu w powietrzu pomieszczeń zabiegowych waha się w bardzo szerokich granicach – od 11 mg/m^3 do blisko 8000 mg/m^3 (1). Podczas dozowania sewofluranu metodą intubacji dotchawiczej w pomieszczeniu z miejscową instalacją wywiewną stężenie wynosiło $4,15\text{--}24 \text{ mg/m}^3$, przy stosowaniu do narkozy u dzieci w pomieszczeniu bez instalacji wyciągowej – do 400 mg/m^3 , a w przypadku półotwartych systemów anestetycznych stężenia sewofluranu osiągały nawet $800\text{--}2000 \text{ mg/m}^3$ (2–4).

Do końca lat 90. ubiegłego wieku polskie dane dotyczące poziomów narażenia były nieliczne i fragmentaryczne. Ponadto dotyczyły niemal wyłącznie halotanu, który jako jedyny związek z tej grupy posiadał norma-

Tabela 1. Anestetyki stosowane w Polsce w latach 2006–2010
Table 1. Anesthetics used in Poland, 2006–2010

Nazwa handlowa Commercial name	NDS MAC [mg/m^3]	Nazwa wg IUPAC IUPAC name	CAS CAS No.	Wzór sumaryczny Molecular formula	Wzór strukturalny Structural formula
Dezfluran / Desflurane	125	1,2,2,2-tetrafluoro-1- -(difluorometoksy)etan / 1,2,2,2-tetrafluoro-1- -(difluoromethoxy)ethane	57041-67-5	$C_3H_2F_6O$	
Izofluran / Isoflurane	32	2-chloro-2-(difluorometoksy)- -1,1,1-trifluoroetan / 2-chloro-2-(difluoromethoxy)- -1,1,1-trifluoroethane	26675-46-7	$C_3H_2ClF_5O$	
Sewofluran / Sevoflurane	55	1,1,1,3,3,3-heksafluoro-2- -(fluorometoksy)propan / 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2- -(fluoromethoxy)propane	28523-86-6	$C_4H_3F_7O$	
Halotan / Halothane	40 (NDSCh = 100)	2-bromo-2-chloro-1,1,1- -trifluoroetan / 2-bromo-2-chloro-1,1,1- -trifluoroethane	151-67-7	$C_2HBrClF_3$	
Podtlenek azotu / Nitrous oxide	90	tlenek diazotu / nitrous oxide	10024-97-2	N_2O	$N \equiv N = O$

NDS – najwyższe dopuszczalne stężenie / MAC – maximum admissible concentration, NDSCh – najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe / short-term exposure limit, IUPAC – Międzynarodowa Unia Chemii Czystej i Stosowanej / International Union of Pure and Applied Chemistry, CAS – oznaczenie numeryczne przypisane każdej substancji chemicznej przez amerykańską organizację Chemical Abstracts Service / numerical identifiers assigned by the Chemical Abstracts Service to every chemical substance.

tyw higieniczny od 1991 r. i był sporadycznie mierzony przez laboratoria stacji sanitarno-epidemiologicznych (5). W Instytucie Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi (IMP) w 1995 r. rozpoczęto badania środowiska pracy personelu medycznego w celu zidentyfikowania substancji niebezpiecznych oraz kompleksowe badania narażenia zawodowego (6,7). W wyniku tych prac do Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń (NDS) i Natężeń (NDN) Czynn timerów Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy zgłoszono jako substancje istotne dla narażenia zawodowego personelu medycznego nowo wprowadzane anestetyki z grupy eterów, jak również najdłużej (bo od XIX w.) stosowany anestetyk – tlenek diazotu (podtlenek azotu, gaz rozweselający, N₂O). Wartość NDS w powietrzu na stanowiskach pracy ustanowiono dla N₂O dopiero w 2005 r., a dla innych anestetyków – takich jak sewofluran, izofluran i dezfluran – w 2007. Zestawienie wartości NDS dla stosowanych w Polsce anestetyków przedstawiono w tabeli 1.

Warunkiem ustanowienia normatywów higienicznych dla nowych substancji, jest dostępność metod analitycznych możliwych do stosowania przez laboratoria higieny pracy, najlepiej w postaci Polskich Norm lub zaleceń metodycznych. Autorzy niniejszego opracowania opracowali w latach 2004–2007 odpowiednie metodyki analityczne, czego efektem są publikacje zawierające metody oznaczania tlenu diazotu, izofluranu, dezfluranu i sewofluranu (8–11). Obecnie dostępne są arkusze Polskich Norm dla każdej z omawianych substancji: PN-Z-04009-12:2008 – dotyczy oznaczania tlenu diazotu, PN-Z-04423:2011 – izofluranu, PN-Z-04422:2010 – dezfluranu, PN-Z-04429:2011 – sewofluranu oraz najstarsza norma (wycofana już przez Polski Komitet Normalizacyjny) dotycząca oznaczania halotanu – PN-Z-04423:1992 (12–16).

MATERIAŁ I METODY

Sala operacyjna jest przykładem środowiska pracy, w którym narażenie zawodowe ma charakter złożony. Personel medyczny może mieć kontakt z takimi substancjami, jak:

- środki znieczulające – tlenek diazotu, halotan, dezfluran, izofluran, sewofluran;
- środki dezynfekujące – alkohole: etylowy, propylowy, izopropylowy;
- substancje do sterylizacji – epoksyetan (tlenek etylenu);
- rozpuszczalniki – heksan i jego izomery (składniki benzyny aptecznej).

Takie spektrum zanieczyszczeń wymaga zastosowania metod pomiarowych, które umożliwiają oznaczenie na odpowiednim poziomie każdej substancji istotnej dla oceny narażenia zawodowego.

Monitorowanie środowiska pracy personelu medycznego sali operacyjnej wymaga stosowania 2 niezależnych procedur:

- absorpcyjnego pobierania próbek i chromatograficznej analizy eluatu,
- pobierania próbek metodą izolacyjną i analizy chromatograficznej próbki gazowej (stosowanej do oznaczania N₂O).

W oparciu o prace Imbrianiego i wsp. oraz Accorsiego i wsp. (17–19) dotyczące oznaczania gazów anestetycznych w moczu techniką headspace opracowano metodykę oznaczania tlenu diazotu i pozostałych anestetyków z wykorzystaniem chromatografii gazowej z detekcją mas (gas chromatography – mass spectrometry – GC/MS).

Metody badań

Oznaczanie tlenu diazotu

Oznaczenie stężenia tlenu diazotu w powietrzu, ze względu na jego małą reaktywność w niskich temperaturach, stwarza wiele problemów analitycznych. Większość opisanych metod oparta jest na stosowaniu urządzeń z bezpośrednim odczytem w czasie rzeczywistym, wykorzystujących różne techniki spektrometryczne, takie jak fotoakustyczna spektrometria w podczerwieni (20–23) oraz klasyczna spektrometria w podczerwieni (24). Podejmowano także próby pobierania próbek powietrza metodą izolacyjną (z wykorzystaniem worków typu Tedlar®) i analizy w laboratorium metodą spektrometrii w podczerwieni z transformacją furierowską (Fourier transform infrared spectroscopy – FT-IR) (7).

Opracowana przez autorów niniejszej publikacji metodyka oznaczania N₂O polega na pobieraniu próbek powietrza do worków typu Tedlar® i analizie chromatograficznej z automatycznym nastrzykiem po przeniesieniu części powietrza z worka do naczynek automatycznego dozownika (walek) oraz detekcji za pomocą spektrometru mas. Metodyka umożliwia seryjne analizy wielu próbek z bardzo dobrą czułością, powtarzalnością i odtwarzalnością. Wysoka czułość metody pozwala na ilościowe oznaczenie N₂O w próbce pobranej bezpośrednio do naczynka automatycznego dozownika za pomocą gazoszczelnej strzykawki (o pojemności 100 ml) w celu oceny stężeń chwilowych.

Walidację metody przeprowadzono zgodnie z normą europejską PN-EN 482:2012 (25) oraz odpowiednimi wytycznymi w tym kontekście (26). Określono zakres pomiarowy metody, granicę wykrywalności, granicę oznaczania ilościowego, poprawność, precyzję i niepewność rozszerzoną pomiaru. Otrzymano następujące wartości: granica oznaczania ilościowego – 1,26 mg/m³, niepewność całkowita metody – 14,38%. Opracowana metoda została akredytowana przez Polskie Centrum Akredytacji (PCA) w 2009 r. i jest procedurą badawczą (27) stosowaną do rutynowych badań w Zakładzie Bezpieczeństwa Chemicznego Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi (IMP).

Oznaczanie anestetyków halogenowych

Do pomiaru stężeń pozostałych anestetyków wziewnych, tzn. substancji będących pochodnymi eterów i węglowodorów alifatycznych (takich jak sewofluran, dezfluran, izofluran, halotan) również zastosowano metodę chromatografii gazowej z detekcją mas. W tym przypadku absorpcja substancji lotnych dokonuje się na rurkach sorpcyjnych, wypełnionych specjalnym węglem typu „Petroleum Charcoal”. Zawartość rurki przesypuje się do naczynka (wialki) i ekstrahuje pochłonięte związki chemiczne toluenem, a następnie analizuje chromatograficznie. Taka sama procedura umożliwia jednocześnie oznaczanie epoksyetanu (tlenku etylenu) – środka używanego do sterylizacji w sterylizatorach ciśnieniowych (6) – wraz z anestetykami.

Także dla tej metody dokonano walidacji i określono potrzebne parametry. Otrzymano następujące wartości: granica oznaczania ilościowego dla sewofluranu wynosi 2,79 µg/ml, halotanu – 0,22 µg/ml, dezfluranu – 2,19 µg/ml, izofluranu – 2,15 µg/ml. Niepewność całkowita metody wyniosła dla nich odpowiednio: 15,76%, 14,49%, 15,83% i 11,28%. Również ta metoda została akredytowana przez PCA w 2009 r. i jest procedurą badawczą (28) stosowaną do rutynowych badań w Zakładzie Bezpieczeństwa Chemicznego IMP.

Oznaczanie pozostałych zanieczyszczeń

Pozostałe zanieczyszczenia, które mogą występować na sali operacyjnej – np. alkohole: etylowy, propylowy, izopropylowy, oraz rozpuszczalniki: heksan i jego izomery (składniki benzyny aptecznej) – można oznaczyć, stosując rutynowe metody do oznaczania rozpuszczalników organicznych w próbkach powietrza, zgodnie z procedurą badawczą opracowaną w Zakładzie Bezpieczeństwa Chemicznego IMP (29).

Pobieranie próbek powietrza

Próbki powietrza w celu oceny narażenia zawodowego personelu medycznego były pobierane metodą dozometrii indywidualnej w strefie oddychania monitorowanych osób przez co najmniej 75% czasu trwania 8-godzinnej zmiany roboczej, zgodnie z przyjętymi jednolitymi kryteriami monitoringu środowiska pracy, według Polskiej Normy PN-Z-04008-7:2002 (30). Jak wspomniano wcześniej, konieczne było zastosowanie 2 zestawów pomiarowych w celu poboru powietrza metodą izolacyjną (do worka tedlarowego) oraz metodą absorpcyjną (pochłanianie na rurce sorpcyjnej).

Dwutorowa analiza zanieczyszczeń wynika z konieczności oznaczania wszystkich substancji obecnych w środowisku pracy, ponieważ w Polsce w przypadku współwystępowania w środowisku pracy substancji o podobnym charakterze działania toksycznego wymagane jest obliczanie współczynnika łącznego narażenia. Jest on sumą ilorazów stężeń poszczególnych substancji i ich normatywów higienicznych (30,31). Zaniechanie oznaczania jakiegokolwiek substancji może spowodować błędną interpretację wyników pomiarów. Ma to znaczenie szczególnie w przypadku występowania w środowisku pracy złożonych mieszanin substancji toksycznych.

Należy podkreślić, że wszystkie badania wykonywano zgodnie z procedurami badawczymi obowiązującymi w Zakładzie Bezpieczeństwa Chemicznego IMP, które dotyczą analizy jakościowej i ilościowej anestetyków halogenowych, tlenku diazotu i rozpuszczalników organicznych (27–29). Na uwagę zasługuje również, że laboratorium Zakładu jako pierwsze w kraju uzyskało w 2009 r. akredytację PCA w zakresie oznaczania pełnego spektrum anestetyków (tj. tlenku diazotu, sewofluranu, dezfluranu, izofluranu i halotanu).

Miejsce badań

Badania przeprowadzono w latach 2006–2010 w 31 szpitalach na terenie całego kraju. Objęto nimi 117 sal operacyjnych, przy czym w niektórych szpitalach pomiary w tych samych salach prowadzono kilkakrotnie w ramach rutynowej kontroli warunków sanitarnych. Pomiarami objęto 146 lekarzy anesteziologów i 154 pielęgniarki (głównie anesteziologiczne oraz kilka instrumentariuszek i położnych). Próbki powietrza pobierano w strefie oddychania osób monitorowanych, zgodnie z zasadami pobierania próbek powietrza (30), czyli przez co najmniej 3/4 zmiany roboczej (nie krócej niż 6 godz.).

Pomiary prowadzono w czasie różnych zabiegów operacyjnych – ortopedycznych, laryngologicznych,

Tabela 2. Czynności i specjalności medyczne objęte badaniami
Table 2. Operations and medical specialties covered by the surveys

Miejsce zabiegów Place of treatment	Sale operacyjne Operating rooms [n]	Monitorowane osoby Monitored people [n]		
		ogółem total	lekarze doctors	pielęgniarki nurses
Chirurgia dziecięca / Pediatric surgery	5	14	7	7
Chirurgia klatki piersiowej / Thoracic surgery	1	2	1	1
Chirurgia naczyniowa i ogólna / Vascular and general surgery	1	2	1	1
Chirurgia ogólna / General surgery	11	31	15	16
Chirurgia plastyczna / Plastic surgery	1	4	2	2
Chirurgia szczękowo-twarzowa / Maxillofacial surgery	1	6	3	3
Chirurgia urazowa / Trauma surgery	3	6	3	3
Ginekologia / Gynecological surgery	10	35	14	21
Sala cięć cesarskich / Cesarean section surgery room	6	13	5	8
Endokrynologia / Endocrine surgery	1	2	1	1
Kardiochirurgia / Cardiac surgery	5	10	5	5
Laparoskopia / Laparoscopy	1	2	1	1
Laryngologia / Laryngeal surgery	8	22	11	11
Neurochirurgia / Neurosurgery	5	10	5	5
Neurotraumatologia / Neurotraumatology	1	2	1	1
Okulistyka / Ocular surgery	7	18	9	9
Onkologia / Oncologic surgery	9	28	18	10
Ortopedia / Orthopedic surgery	4	11	5	6
Stomatologia / Dental surgery	1	2	1	1
Urologia / Urologic surgery	1	2	1	1
Inne / Other	35	78	37	41
Ogółem / Total	117	300	146	154

endokrynologicznych, kardiologicznych, okulistycznych, urologicznych, neurochirurgicznych, ginekologicznych, w tym także porodów poprzez cięcie cesarskie oraz chirurgii (ogólnej, szczękowo-twarzowej, urazowej, naczyniowej, plastycznej). Badania przeprowadzono głównie podczas zabiegów u dorosłych pacjentów, ale także w szpitalach pediatrycznych (tab. 2).

Wybór stanowisk pracy do oceny narażenia zawodowego

Zgodnie z zasadami pobierania próbek do oceny narażenia zawodowego oraz stosownymi wytycznymi (30,32) w miejscu pracy, w którym przebywa do 6 osób, monitorowane powinny być wszystkie osoby. Jeśli nie jest to możliwe, do badań należy wytypować pracowników najbardziej narażonych. Na sali operacyjnej podczas

zabiegu liczba personelu waha się od 5 do 10 osób, jednak objęcie ich wszystkimi pomiarami nie jest możliwe ze względu na specyfikę pracy np. chirurga, który musi mieć całkowitą swobodę ruchów, ale także ze względów ekonomicznych.

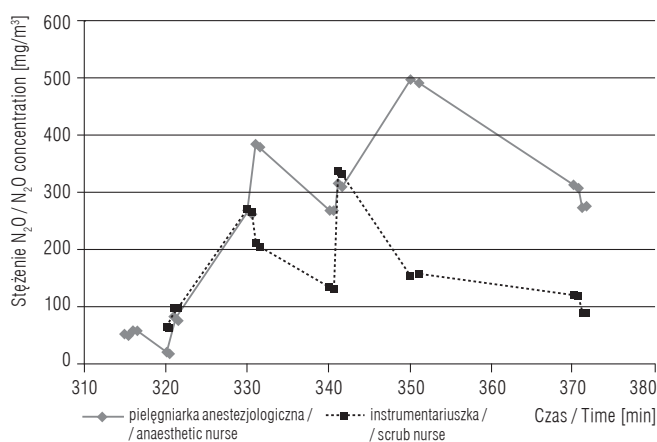
Sala operacyjna jest stosunkowo niewielkim pomieszczeniem, w którym przebywa zespół operacyjny i zespół znieczulający. Wszystkie osoby pracujące w otoczeniu stołu operacyjnego są narażone na działanie tych samych substancji chemicznych – anestetyków, środków odkażających, myjących itp. Można też przypuszczać, że rozkład stężeń w otoczeniu stołu operacyjnego powinien być zbliżony.

Przystępując w tej części pracy do porównawczej oceny narażenia, ograniczono ją do porównania stężeń podtlenku azotu na wybranych stanowiskach,

tn. zespołu znieczulającego (lekarz anestezjolog, pielęgniarka anestezjologiczna) oraz wykonującego zabieg operacyjny (chirurg, pielęgniarka instrumentariuszka). Wykonanie pomiarów pozwoliło oszacować różnice w narażeniu zawodowym w zależności od zajmowanego stanowiska pracy.

Żeby dokonać porównania, pobierano chwilowe próbki powietrza do walek autosamplera w celu określenia stężenia tlenu diazotu. Próbkę pobierano w ten sposób poddawano następnie takiej samej procedurze analitycznej jak próbki pobierane do worków tedlarowych. Obliczenia stężenia średniego z odczytów chwilowych wykonano zgodnie z wytycznymi dotyczącymi obliczeń dla pomiarów przeprowadzanych za pomocą przyrządów do bezpośredniego odczytu (32).

Na rycinie 1. i w tabeli 3. przedstawiono, jak kształtują się stężenia chwilowe N_2O w czasie zabiegów w miejscu pracy zespołu anestetycznego i chirurgicznego.



Ryc. 1. Stężenie chwilowe tlenu diazotu (N_2O) w trakcie zabiegu na stanowisku pracy pielęgniarki anestezjologicznej i instrumentariuszki

Fig. 1. Short-term concentrations of nitrous oxide (N_2O) during surgery at workposts of anesthetic and scrub nurses

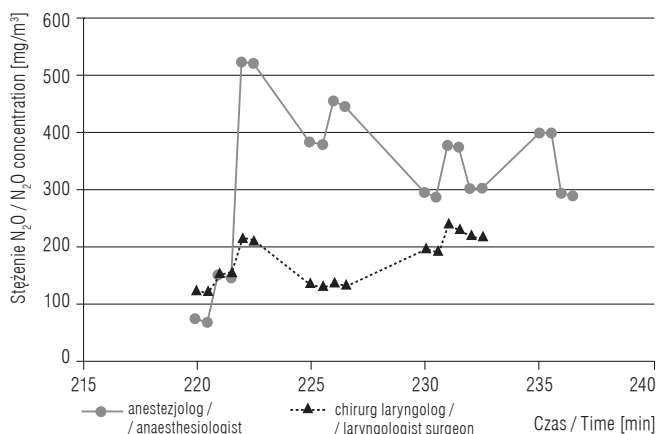
Tabela 3. Porównanie stężenia tlenu diazotu (N_2O) na stanowiskach pracy zespołu znieczulającego i chirurgicznego
Table 3. Comparison of nitrous oxide (N_2O) concentrations at workposts of anesthetic and surgical teams

Zabieg Treatment	Czas pomiaru Time period [min]	Stężenie N_2O N_2O concentration [mg/m ³]	
		zespół chirurgiczny surgical team	zespół anestezjologiczny anesthetic team
1	35	76,0	89,3
2	65	143,8	160,0
3	110	137,3	154,2

Rycina 1. przedstawia rozkład stężeń podczas zabiegu operacyjnego na stanowiskach pielęgniarki anestezjologicznej i instrumentariuszki. Narażenie pielęgniarki anestezjologicznej na N_2O na początku pomiaru jest podobne jak instrumentariuszki, jednak w końcowym etapie zabiegu widoczny jest pewien wzrost stężenia podtlenu azotu na stanowisku anestezjologicznym. Prawdopodobnie wiąże się to z wybudzaniem pacjenta (rozintubowaniem). Jest to moment, w którym może dochodzić do wycieku gazów. W tym czasie pielęgniarka instrumentariuszka zwykle nie przebywa już w pobliżu stołu operacyjnego.

W tabeli 3. przedstawiono stężenie podtlenu azotu wyliczone według cytowanych wcześniej wytycznych (32) na podstawie pomiarów chwilowych, które wykonano w czasie trwania różnych zabiegów. Różnice w stężeniach, na jakie narażony jest zespół chirurgiczny i anestezjologiczny, nie są duże, mieszczą się w granicy 10–15%. Zawsze jednak są to różnice na niekorzyść anestezjologów, to znaczy na tych stanowiskach narażenie na N_2O jest większe.

Rycina 2. przedstawia rozkład stężeń podczas krótkotrwałego (15-minutowego) zabiegu usunięcia migdałków, kiedy anestezja prowadzona była bez intubacji pacjenta, poprzez maskę w układzie otwartym. Mimo krótkiego czasu operacji (15 min) stężenie podtlenu azotu (średnie dla okresu pomiarowego) jest stosunkowo wysokie, szczególnie w przypadku lekarza anestezjologa – 284,5 mg/m³. Chirurg-laryngolog mimo stosunkowo niewielkiej odległości, jaka dzieli go od stanowiska pracy anestezjologa w czasie zabiegu, jest narażony na stężenia prawie o połowę mniejsze (170,6 mg/m³).



Ryc. 2. Stężenie chwilowe tlenu diazotu (N_2O) w trakcie zabiegu na stanowisku lekarzy: anestezjologa i chirurga-laryngologa
Fig. 2. Short-term concentrations of nitrous oxide (N_2O) during surgery at workposts of anesthesiologist and laryngologist surgeon

Wykonane badania potwierdzają założenie, że osobami najbardziej narażonymi w sali operacyjnej są lekarz anestezjolog i pielęgniarka anestezjologiczna. Taki wybór osób do badań jest również zgodny z wytycznymi oraz normą dotyczącymi zasad pobierania prób (30,32). Mówią one, że jeśli nie jest możliwe objęcie pomiarami wszystkich osób, do oceny narażenia zawodowego należy wybrać pracowników najbardziej narażonych.

Niniejsze badania sygnalizują ponadto, że rodzaj anestezji – „zamknięta” lub „otwarta” – ma wpływ na wielkość skażenia powietrza N_2O .

WYNIKI

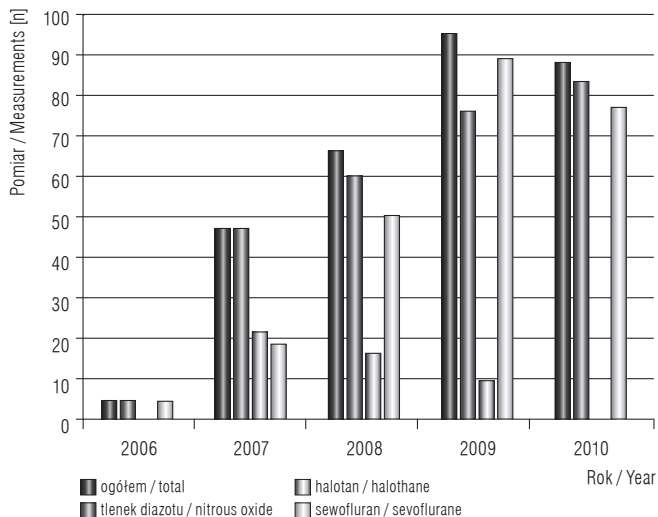
Na wstępnym etapie badań przeprowadzono pomiary pełnego spektrum zanieczyszczeń w kilkunastu salach operacyjnych. Stwierdzono, że stężenia alkoholi były na bardzo niskim poziomie: etanolu w zakresie 6,9–76,1 mg/m^3 , izopropanolu – 0,7–14,4 mg/m^3 , a propanolu – 1,7–21,6 mg/m^3 . Zmierzone stężenia były znacznie poniżej wartości NDS, które wynoszą odpowiednio: 1900 mg/m^3 , 900 mg/m^3 i 200 mg/m^3 .

Obecność w środowisku sal operacyjnych innych substancji, takich jak heksan i jego izomery, była stwierdzana sporadycznie (w 3 spośród 17 badanych sal). Ich stężenia były poniżej granicy oznaczalności, a wykrycie umożliwiła technika chromatografii gazowej z detekcją mas (GC/MS).

W żadnej z badanych sal operacyjnych nie stwierdzono obecności tlenu etylenu – substancji stosowanej w sterylizatorach ciśnieniowych. W latach 90. XX wieku w powietrzu sal operacyjnych łódzkich szpitali jej obecność w wysokich stężeniach, mogących zagrażać zdrowiu, wykazali w swoich badaniach Wesołowski i Sitarek (6). Obserwacje podczas badań opisywanych w niniejszej pracy wskazują, że obecnie sterylizacja odbywa się zgodnie z zasadami, tzn. poza blokiem operacyjnym, a sterylizowane przedmioty trafiają do bloku po 2-tygodniowym wietrzeniu w specjalnych pomieszczeniach. Efektem jest brak narażenia personelu sal operacyjnych na tę substancję.

Systematyczne badania anestetyków w salach operacyjnych rozpoczęto w 2006 r., przy czym z roku na rok liczba wykonywanych pomiarów gwałtownie wzrosła (ryc. 3).

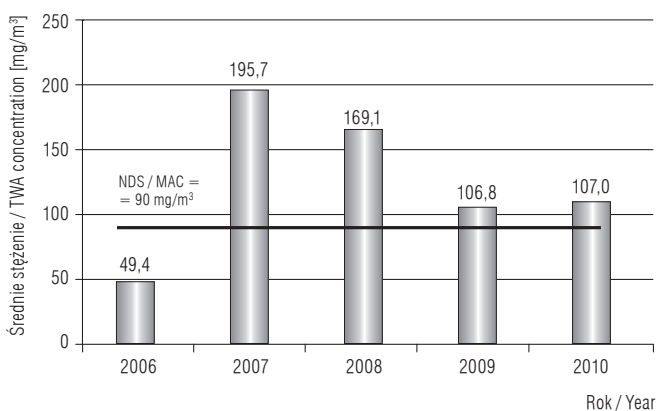
W badanym okresie wykonano łącznie 300 pomiarów w celu oceny narażenia zawodowego, przy czym najczęściej mierzono stężenie tlenu diazotu (291 pomiarów) i sewofluranu (261). Kolejną substancją, którą



Ryc. 3. Pomiary przeprowadzone w Polsce w latach 2006–2010
Fig. 3. Measurements made in Poland, 2006–2010

oznaczono w celu określenia narażenia zawodowego, był halotan (88 pomiarów) – liczba pomiarów w kolejnych latach systematycznie spadała, co wynika z wycofania tego anestetyku z handlu. W 2010 r. nie stwierdzono jego obecności na żadnym z monitorowanych stanowisk pracy (ryc. 3). Inne anestetyki używane były sporadycznie.

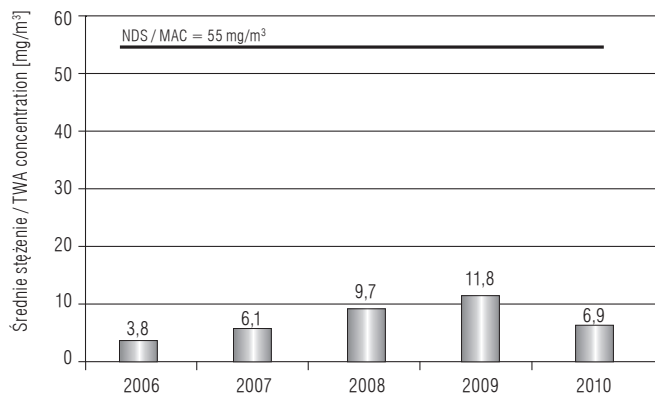
Na rycinach 4–9. przedstawiono średnie stężenie badanych anestetyków oraz łączne narażenie w poszczególnych latach. Zaznaczono również wartości NDS dla tych substancji, w celu zobrazowania wielkości przekroczeń.



NDS – najwyższe dopuszczalne stężenie / MAC – maximum admissible concentration.

Ryc. 4. Średnie stężenie czasem wazone tlenu diazotu w latach 2006–2010

Fig. 4. Time weighted average (TWA) concentrations of nitrous oxide, 2006–2010

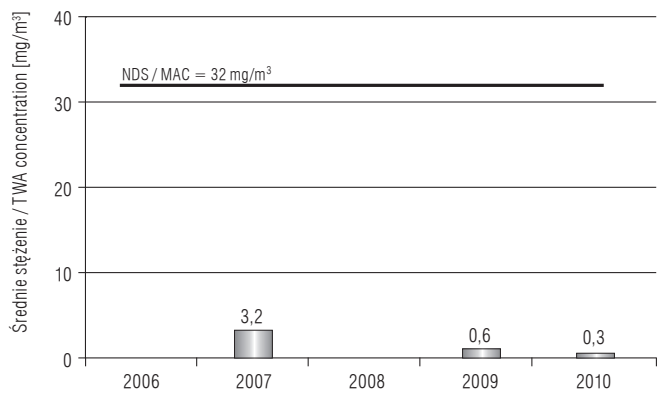


Skrót jak w rycinie 4 / Abbreviation as in Figure 4.

Rok / Year

Ryc. 5. Średnie stężenia czasem ważone sewofluranu w latach 2006–2010

Fig. 5. Time weighted average (TWA) concentrations of sevoflurane, 2006–2010

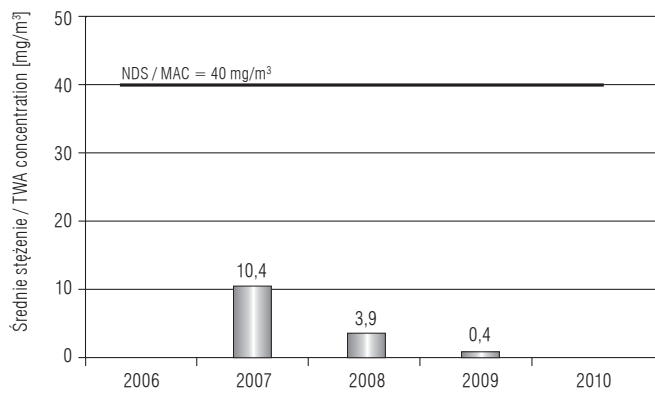


Skrót jak w rycinie 4 / Abbreviation as in Figure 4.

Rok / Year

Ryc. 8. Średnie stężenia czasem ważone izofluranu w latach 2006–2010

Fig. 8. Time weighted average (TWA) concentrations of isoflurane, 2006–2010

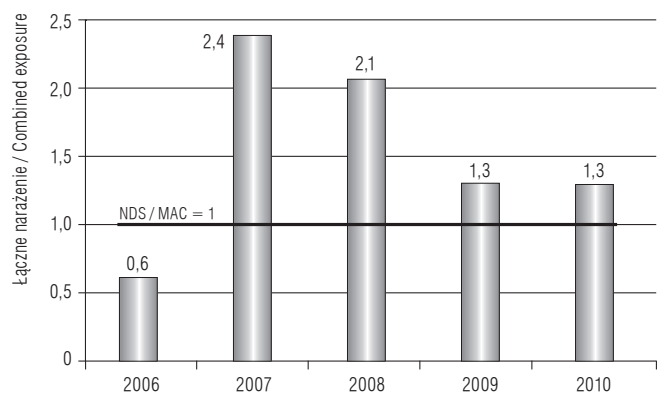


Skrót jak w rycinie 4 / Abbreviation as in Figure 4.

Rok / Year

Ryc. 6. Średnie stężenia czasem ważone halotanu w latach 2006–2010

Fig. 6. Time weighted average (TWA) concentrations of halothane, 2006–2010

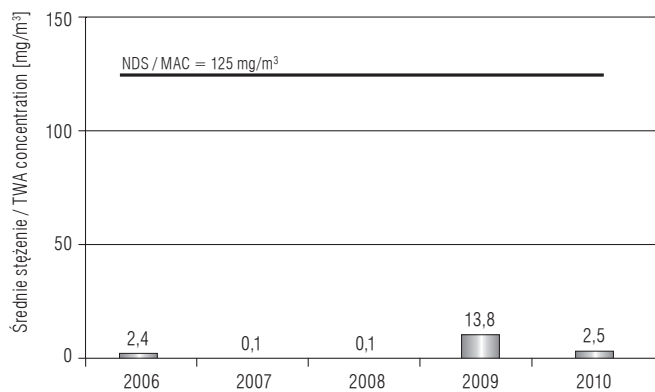


Skrót jak w rycinie 4 / Abbreviation as in Figure 4.

Rok / Year

Ryc. 9. Wartość średniego współczynnika łącznego narażenia w latach 2006–2010

Fig. 9. Mean values of combined exposure, 2006–2010



Skrót jak w rycinie 4 / Abbreviation as in Figure 4.

Rok / Year

Ryc. 7. Średnie stężenia czasem ważone dezfluranu w latach 2006–2010

Fig. 7. Time weighted average (TWA) concentrations of desflurane, 2006–2010

Tabela 4. zawiera zestawienie wyników badań w poszczególnych latach. Przedstawiono w niej informacje dotyczące liczby pomiarów, zakresu oznaczanych stężeń oraz wyliczoną średnią arytmetyczną w danym roku. W przypadku stwierdzenia przekroczeń wartości NDS dodatkowo podano liczbę pomiarów powyżej tej granicy, a także wyliczone stężenie na poziomie 50. lub 95. percentyla.

OMÓWIENIE

Systematyczne badania personelu medycznego rozpoczęto w 2006 r. (zaledwie 4 sale w 1 szpitalu) i liczba pomiarów rosła z roku na rok. Zdecydowanie zwiększyła się liczba pomiarów stężenia podtlenku azotu, a także

Tabela 4. Pomiary anestetyków wykonane w Polsce w latach 2006–2010
Table 4. Measurements of exposure to anesthetics in Poland, 2006–2010

Substancja lub parametr Substance or parameter	Pomiar Measurement				
	2006 (N = 4)	2007 (N = 47)	2008 (N = 66)	2009 (N = 95)	2010 (N = 88)
Tlenek diazotu / Nitrous oxide					
zakres / range [mg/m ³]	7,19–124,8	0,19–963,8	0,10–1329,3	0,10–1438,5	0,10–576,1
pomiar / measurement > X _{ozn} [n]	4	47	60	76	83
pomiar / measurement > NDS [n]	1	26	31	17	40
stężenie 50. percentyla (S50) / 50 percentile concentration (50th percentile) [mg/m ³]	32,83	111,22	81,69	21,36	75,08
Sewofluran / Sevoflurane					
zakres / range [mg/m ³]	0,31–11,8	0,06–51,2	0,06–78,9	0,06–326,4	0,06–60,9
pomiar / measurement > X _{ozn} [n]	4	18	50	89	77
pomiar / measurement > NDS [n]	0	0	2	2	1
stężenie 95. percentyla (S95) / 95 percentile concentration (95th percentile) [mg/m ³]	10,43	13,70	43,32	40,18	33,02
Halotan / Halothane					
zakres / range [mg/m ³]		0,04–117,9	0,04–55,6	0,04–5,8	
pomiar / measurement > X _{ozn} [n]		21	16	9	
pomiar / measurement > NDS [n]		1	2	0	
stężenie 95. percentyla (S95) / 95 percentile concentration (95th percentile) [mg/m ³]		34,20	32,49	2,68	
Dezfluran / Desflurane					
zakres / range [mg/m ³]	0,31–5,5	0,4	0,2	0,09–109,8	0,09–14,8
pomiar / measurement > X _{ozn} [n]	4	1	1	8	11
Izofluran / Isoflurane					
zakres / range [mg/m ³]		0,05–9,8		0,05–3,2	0,05–0,8
pomiar / measurement > X _{ozn} [n]		6		3	4
Łączne narażenie / Combined exposure					
zakres / range	0,30–1,4	0,01–11,1	0,01–14,8	0,01–16,6	0,01–6,4
pomiar / measurement > X _{ozn} [n]	4	45	64	88	88
pomiar / measurement > NDS [n]	1	27	35	26	41
wartość 50. percentyla (S50) / 50 percentile value (50th percentile)	0,43	1,29	1,06	0,32	0,88

N – liczba monitorowanych osób / the number of monitored people.

X_{ozn} – granica oznaczalności / determination limit [mg/m³].

sewofluranu (ryc. 3, tab. 4) przy jednoczesnym spadku liczby próbek, w których wykryto halotan. W 2010 r. już nie stwierdzono występowania tej substancji, co odzwierciedla krajowe tendencje w stosowaniu rodzajów środków znieczulających.

Najczęściej występującymi substancjami w środowisku pracy bloków operacyjnych w latach 2006–2010 by-

ły tlenek diazotu i sewofluran (ryc. 3, tab. 4). Stosunkowo duży udział halotanu w latach 2007–2008 należy tłumaczyć powszechnością jego stosowania w początkowym okresie prowadzonych badań. Podtlenek azotu ciągle jest jeszcze głównym składnikiem mieszanin anestetycznych, chociaż w niektórych szpitalach zrezygnowano ze stosowania tego gazu całkowicie. Tlenek

diazotu stosowany jest głównie ze względów ekonomicznych – jest to najtańszy i łatwo dostępny anestetyk. Choć liczba pomiarów dezfluranu i izofluranu jest stosunkowo mała, w ostatnich latach zauważa się tendencję wzrostową.

Zmierzone stężenie anestetyków mieści się w bardzo szerokich zakresach, z czego największe wahania obserwuje się w przypadku tlenu diazotu: 0,1–1438,5 mg/m³ (tab. 4). Jeśli chodzi o ten anestetyk, najczęściej, bo w 40% przypadków, dochodziło do przekroczenia wartości najwyższego dopuszczalnego stężenia (90 mg/m³), często wielokrotnie. Maksymalne stwierdzone stężenie N₂O przekraczało wartość NDS prawie 16-krotnie. W 2007 r. stężenie wyliczone na poziomie 50. percentyla (S50) wyniosło 111,2 mg/m³, co świadczy o tym, że 50% wyników było powyżej lub równe tej wartości. Oznacza to, że ponad połowa wyników przekraczała wartość NDS (90 mg/m³). W następnym roku sytuacja nieco się poprawiła – stężenie S50 wyniosło 81,7 mg/m³, choć nadal prawie połowa wyników była na poziomie lub powyżej NDS. Kolejny rok przyniósł pewną poprawę – S50 wyniosło 21,4 mg/m³, jednak w tym czasie odnotowano najwyższe maksymalne stężenie N₂O – 1438,5 mg/m³. W 2010 r. stężenie S50 wyniosło 75,1 mg/m³, odnotowano też znacznie niższe stężenie maksymalne (576,1 mg/m³). Jak widać na rycinie 4., średnie stężenie N₂O w poszczególnych latach przekracza wartość dopuszczalną (poza rokiem 2006). W 2007 r. przekroczenie to jest ponad 2-krotne, a w kolejnych latach spada.

Podobne zależności widać w przebiegu wartości łącznego narażenia (ryc. 9), co świadczy o tym, że zależy ono głównie od stężenia tlenu diazotu.

Dopuszczalne stężenia pozostałych anestetyków, takich jak sewofluran oraz halotan, były przekraczane sporadycznie – odpowiednio: 2% i 3% wyników, choć i w tych przypadkach zdarzały się stężenia od wartości NDS wielokrotnie wyższe (maksymalnie 6-krotnie w przypadku sewofluranu i prawie 3-krotnie w przypadku halotanu). Stężenia wyliczone na poziomie 95. percentyla nigdy nie przekraczały wartości dopuszczalnych, podobnie jak średnie stężenia (tab. 4, ryc. 5,6). Pozostałe anestetyki (izofluran i dezfluran) występowały w stężeniach niższych od odpowiednich wartości normatywnych, przy czym należy zauważyć, że były one o wiele rzadziej stosowane (tab. 4, ryc. 7,8).

Stwierdzone wielkości stężeń anestetyków wskazują, że 43% monitorowanych osób pracowało w warunkach niebezpiecznych dla zdrowia, tzn. współczynnik łącznego narażenia wyliczony dla tych osób przekraczał wartość dopuszczalną, wynoszącą 1.

Przystępując do oceny narażenia zawodowego w zakładach opieki zdrowotnej, należy przygotować się na wiele zaskakujących sytuacji. Interesującym przykładem mogą być sale ginekologiczne, w których wykonywano zabiegi cesarskiego cięcia. W wielu ośrodkach stosuje się znieczulenie podpajęczynówkowe (miejscowe), czyli nie używa się gazów anestetycznych, a jeśli już, są to przypadki sporadyczne i zwykle nieplanowane. Wykonanie badań narażenia zawodowego personelu pracującego w tych salach jest więc prawie niemożliwe. W niektórych ośrodkach takie zabiegi z zasady wykonuje się jednak w znieczuleniu ogólnym, czyli z użyciem gazów anestetycznych. Nie można więc tego typu sal wykluczyć z monitorowania środowiska pracy.

Kolejnym problemem dla badającego narażenie jest ustalenie spektrum substancji, z którymi może się spotkać w sali operacyjnej. Zgodnie z przepisami dotyczącymi stosowania anestetyków każdy ze stosowanych anestetyków powinien mieć swój parownik, co daje możliwość prognozowania substancji do monitorowania przy planowaniu badań. W praktyce nie zawsze tak jest. W trakcie badań bowiem zdarzały się sytuacje, że zadeklarowane anestetyki nie zawsze były stwierdzane w analizowanych pobranych próbkach, a w niektórych, nielicznych przypadkach stwierdzono obecność gazów, chociaż na sali nie było odpowiednich dla nich parowników. Z tego powodu zastosowana metodyka – oparta na pełnej kalibracji dla wszystkich substancji, które mogą być stosowane przy operacjach – daje gwarancję, że wykonujący badania nie przeoczy obecności substancji, których nie przewidział podczas planowania strategii pomiarów. Metodyka ta umożliwia również wykrycie i oznaczenie substancji niestosowanej już na blokach operacyjnych, takiej jak tlenek etylenu (patrz: Wyniki).

WNIOSKI

Metody analityczne oznaczania anestetyków wziewnych w środowisku pracy, które umożliwiają pełną ocenę narażenia zawodowego personelu medycznego sal operacyjnych, zostały już opracowane i opublikowane w powszechnie dostępnym piśmiennictwie. Mimo to Zakład Bezpieczeństwa Chemicznego Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi do 2011 r. pozostawał jedynym laboratorium posiadającym akredytację na tego typu badania. Znacznie ograniczało to możliwość oceny warunków pracy i narażenia w jednostkach służby zdrowia. Przebadanych w latach 2006–2010 i ocenionych przez autorów niniejszej publikacji 31 szpitali to tylko niewielka część jednostek,

w których używane są anestetyki wziewne. Stwierdzony wysoki odsetek osób narażonych na stężenia przekraczające wartości dopuszczalne sprawia, że takie badania są szczególnie wskazane.

W badanych salach operacyjnych najczęściej przekraczane było stężenie tlenu diazotu, najpowszechniej stosowanego anestetyku. W wielu szpitalach zakazywano więc stosowania tego gazu, zastępując go sewofluranem lub innymi anestetykami halogenowymi. Nie w pełni jednak rozwiązuje to problem złych warunków pracy w salach operacyjnych. Kluczem do ich poprawy jest instalowanie w salach operacyjnych odpowiedniej wentylacji.

Kierownictwo jednostki (dyrekcja szpitala, przełożeni bloków operacyjnych), odpowiadające za środowisko pracy, nie ma wpływu na rodzaj prowadzonego zabiegu i stosowaną metodę znieczulenia. Mimo to przełożeni powinni uczulić personel anestesjologiczny na zachowanie szczególnych środków bezpieczeństwa podczas wykonywania procedur o podwyższonej emisji gazów (przede wszystkim zabiegów laryngologicznych i pediatrycznych), w których powszechną metodą znieczulenia jest metoda „na maskę” w układzie otwartym.

PIŚMIENNICTWO

1. Kupczewska-Dobacka M., Soćko R.: Ocena ryzyka związanego z narażeniem personelu medycznego na działanie sewofluranu i izofluranu, wziewnych środków anestetycznych – problem dla pracodawców. *Med. Pr.* 2006;57(6):557–566
2. Scientific Basis for Swedish Occupational Standards: Consensus report for Sevoflurane and Desflurane. *Arbete och Hälsa* 1998;XIX:19–25
3. Westphal K., Strouhal U., Kessler P., Schneider J.: [Zanieczyszczenie sewofluranem podczas zabiegów bronchoskopowych u dzieci]. *Anaesthetist* 1997;46(8):677–682, <http://dx.doi.org/10.1007/s001010050453>. Po niemiecku
4. Westphal K., Martens S., Lischke V., Aybeck T., Mathis G., Strouhal U.: [Narażenie zawodowe na anestetyki wziewne podczas zabiegów kardiologicznych]. *Z. Herz. Thorax. Gefasschir.* 1997;11:244–248, <http://dx.doi.org/10.1007/BF03042151>. Po niemiecku
5. Obszański K., Piszczek M., Sankowski M.: Ocena narażenia na halotan pracowników bloków operacyjnych w wybranych szpitalach i klinikach trójmiejskich. *Med. Pr.* 1993;44(1):41–43
6. Wesołowski W., Sitarek K.: Occupational exposure to ethylene oxide of hospital staff. *Inter. J. Occup. Med. Environ. Health* 1999;12(1):59–65
7. Sitarek K., Wesołowski W., Kucharska M., Celichowski G.: Concentrations of anaesthetic gases in hospital operating theatres. *Inter. J. Occup. Med. Environ. Health* 2000;13(1):61–66
8. Kucharska M., Wesołowski W.: Tlenek diazotu – metoda oznaczania. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2005;1(43):33–37
9. Wesołowski W., Kucharska M.: Desfluran – metoda oznaczania. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2007;1(51):113–119
10. Kucharska M., Wesołowski W.: Izofluran – metoda oznaczania. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2007;1(51):133–139
11. Kucharska M., Wesołowski W.: Sewofluran – metoda oznaczania. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2008;1(55):49–55
12. PN-Z-04009-12:2008P. Ochrona czystości powietrza – Badania zawartości azotu i jego związków – Część 12: Oznaczenie tlenu diazotu na stanowiskach pracy metodą chromatografii gazowej. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2008
13. PN-Z-04423:2011P. Ochrona czystości powietrza – Oznaczenie izofluranu na stanowiskach pracy metodą chromatografii gazowej. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2011
14. PN-Z-04422:2010P. Ochrona czystości powietrza – Oznaczenie dezfluranu na stanowiskach pracy metodą chromatografii gazowej. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2010
15. PN-Z-04429:2011P. Ochrona czystości powietrza – Oznaczenie sewofluranu na stanowiskach pracy metodą chromatografii gazowej. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2011
16. PN-Z-04223-02:1992P. (data wycofania 27-11-2012) Ochrona czystości powietrza – Badania zawartości halotanu (1,1,1-trójfluoro-2-bromo-2-chloroetanu) – Oznaczenie halotanu na stanowiskach pracy metodą chromatografii gazowej. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 1992
17. Imbriani M., Ghittori S., Pezzagno G., Capodaglio E.: Anesthetic in urine as biological index of exposure in operating-room personnel. *J. Toxicol. Environ. Health* 1995;46(2):249–259, <http://dx.doi.org/10.1080/15287399509532032>
18. Accorsi A., Barbierri A., Raffi G.B., Violante F.S.: Biomonitoring of exposure to nitrous oxide, sevoflurane, isoflurane and halothane by automated GC/MS headspace urinalysis. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2001;74:541–548
19. Accorsi A., Valenti S., Barbierri A., Raffi G.B., Violante F.S.: Proposal for single and mixture biological exposure limits for sevoflurane and nitrous oxide at low occupational exposure levels. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2003;76:129–136

20. Szulc R., Taeger K., Jurczyk W., Harth M., Sobczyński P., Sobieszczyk S., Paradowski S.: Skażenie środowiska sal operacyjnych wziewnymi środkami znieczulenia. Ocena stanu w Akademii Medycznej w Poznaniu. *Nowiny Lek.* 1998;67(5):671–690
21. Hoerauf K.H., Koller Ch., Taeger K., Hobbhahn J.: Occupational exposure to sevoflurane and nitrous oxide in operating room personnel. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 1997;69:134–138, <http://dx.doi.org/10.1007/s004200050127>
22. Wiesner G., Harth M., Hoerauf K., Szulc R., Jurczyk W., Sobczyński P. i wsp.: Occupational exposure to inhaled anaesthetics: A follow-up study on anaesthetists of an eastern European university hospital. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 2000;44(7):804–806, <http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-6576.2000.440706.x>
23. Wiesner G., Harth M., Szulc R., Jurczyk W., Sobczyński P., Hoerauf K.H. i wsp.: A follow-up study on occupational exposure to inhaled anaesthetics in Eastern European surgeons and circulating nurses. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2001;74:16–20
24. Stachecki I., Sobczyński P., Szulc R.: Podtlenek azotu w środowisku sal operacyjnych. Ocena sytuacji w szpitalu klinicznym nr 1 w Poznaniu. *Anestezjol. Intens. Ter.* 2001;33:79–82
25. PN-EN 482:2012E. Narażenie na stanowiskach pracy – Wymagania ogólne dotyczące charakterystyki procedur pomiarów czynników chemicznych. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2012
26. Dobecki M.: Zapewnienie jakości analiz chemicznych. Wyd. 3. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2004
27. Procedura Badawcza nr ZCS-PB-08. Metodyka monitorowania narażenia na tlenek diazotu. Wyd. 1. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2010
28. Procedura Badawcza nr ZCS-PB-09. Analiza jakościowa i ilościowa anestetyków halogenowych w próbkach powietrza. Wyd. 1. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2010
29. Procedura Badawcza nr ZCS-PB-01. Analiza jakościowa i ilościowa rozpuszczalników organicznych w próbkach powietrza. Wyd. 5. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2010
30. PN-Z-04008-7. Ochrona czystości powietrza. Pobieranie próbek. Zasady pobierania próbek powietrza w środowisku pracy i interpretacja wyników. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002
31. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 30 grudnia 2004 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy związanej z występowaniem w miejscu pracy czynników chemicznych. *DzU* z 2005 r. nr 11, poz. 86
32. Gromiec J.P.: Pomiary i ocena stężeń czynników chemicznych i pyłów w środowisku pracy. Wytyczne i zalecenia. CIOP-PIB, Warszawa 2004