

MARTA MARKOWSKA¹ | DOMINIKA MACIEJEWSKA² | EWA STACHOWSKA² | HENRYK JELEŃ³ | MAJA CZERWIŃSKA² |
MACIEJ KOŹLIK⁴ | FABIAN URBAN¹ | PIOTR BURSZEWSKI¹ | KRZYSZTOF PIORUN¹ | MATEUSZ KNAKIEWICZ¹ | MACIEJ MAZUREK¹ |
ANDRZEJ KRAJEWSKI¹

NARAŻENIE ZESPOŁU OPERACYJNEGO NA ZWIĄZKI LOTNE WYTWARZANE PODCZAS OPERACJI OPARZONEJ TKANKI Z UŻYCIEM DIATERMII – DONIESIENIE WSTĘPNE

THE EXPOSURE OF THE THEATRE PERSONNEL TO THE VOLATILE COMPOUNDS PRODUCED DURING
THE OPERATION OF BURN TISSUE WITH THE USE OF DIATHERMY – PRELIMINARY REPORT

STRESZCZENIE: Wstęp Od niedawna zaczęto dostrzegać problem związany z narażeniem członków zespołu operacyjnego na substancje powstające podczas cięcia tkanek nożem wytwarzającym wysoką temperaturę. Problem ten jest szczególnie ważny dla zespołów operujących osoby z rozległymi oparzeniami, ponieważ optymalny sposób postępowania chirurgicznego w leczeniu rozległych i głębokich oparzeń polega na szybkim usunięciu tkanek martwych. W tym celu używa się między innymi noży elektrycznych. Stosowanie tych narzędzi wiąże się z wytwarzaniem wysokiej temperatury podczas zabiegu oraz zwiększeniem ekspozycji na lotne czynniki szkodliwe zawarte w dymie z usuwanych tkanek. Celem badania była analiza jakościowa oraz półilościowa niepolarnych związków lotnych wydzielających się podczas resekcji oparzonej tkanki z użyciem diatermii. **Materiały i metody** Badanie zostało przeprowadzone podczas operacji resekcji oparzonej tkanki pacjenta w pierwszej dobie po oparzeniu (ponad 30% TBSA, o głębokości III stopnia). Analizowane związki były absorbowane przy użyciu ekstrakcji do fazy stałej, z użyciem włókien SPME. Czas ekspozycji włókien wynosił 30 minut i rozpoczynał się wraz z początkiem zabiegu. Włókna zostały przeanalizowane na chromatografie gazowym sprzężonym ze spektrometrią mas. **Wyniki** W pilotażowych badaniach własnych składu dymu operacyjnego z wykorzystaniem techniki SPME została wykazana obecność kilkuset niepolarnych związków organicznych. Były to proste związki alifatyczne i aromatyczne, jak: ester kwasu octowego, heksan, aceton oraz skomplikowane pochodne organiczne o nieznanej toksykologii. Analiza wykazała również obecność gazu anestetycznego – sewofluranu. **Wnioski** Dotychczasowe badania dymu operacyjnego były związane z resekcją tkanki zdrowej. Badania własne Autorów po raz pierwszy prezentują analizę dymu powstającego podczas resekcji tkanki oparzonej. Większość wykrytych związków ma potencjalnie toksyczne działanie i może stanowić, dotychczas nie brany pod uwagę, czynnik ryzyka narażenia zespołu operacyjnego.

SŁOWA KLUCZOWE: diatermia, dym operacyjny, narażenie zespołu operacyjnego, oparzenia

ABSTRACT: Introduction The problem of theatre personnel being exposed to substances produced during electrosurgery has only recently started to be taken into consideration. This problem is particularly significant for personnel operating on patients with massive burns, since the optimal procedure for treating massive and deep burns is the early removal of tissue necrosis. For this purpose i.a. electrosurgery is used. The use of such instruments generates high temperature and increases exposure to harmful volatile agents in the smoke discharged from the tissues that are being removed. Aim of the study was qualitative and semi-quantitative analysis of non-polar volatile compounds released during burned tissue excision using cutting diathermy. **Materials and methods** The study was conducted during resection of patient's burned tissue on the first day after the burn (30% TBSA, depth third degree). The analyzed compounds were being absorbed by solid state extraction, using SPME fibers. Exposure time of the fibers was 30 minutes and began with the start of the procedure. The fibers were analyzed by gas chromatography coupled with mass spectrometry. **Results** In our pilot studies

- 1 Zachodniopomorskie Centrum Leczenia Ciężkich Oparzeń i Chirurgii Plastycznej w Gryficach
- 2 Zakład Biochemii i Żywienia Człowieka Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego w Szczecinie
- 3 Zakład Chemii Żywności i Analizy Instrumentalnej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu
- 4 Klinika Chirurgii Plastycznej w Polanicy-Zdroju Uniwersytetu Medycznego im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

✉ ANDRZEJ KRAJEWSKI
Zachodniopomorskie Centrum Leczenia Ciężkich Oparzeń i Chirurgii Plastycznej w Gryficach, ul. Niechorska 27, 72-300 Gryfice, Tel.: (91) 384 20 61 wew. 431, Fax: (91) 384 58 64, e-mail: zcloichp@medicam.pl

Wpłynęło: 04.05.2016

Zaakceptowano: 20.05.2016

DOI: dx.doi.org/10.15374/ChPiO2016004

which employed SPME technique to test surgical smoke composition, we have demonstrated the presence of several hundred of non-polar organic compounds. They were identified as simple aliphatic and aromatic hydrocarbons, such as acid ester, hexane, acetone and complex organic derivatives of unknown toxicology. The analysis has also shown the presence of anesthetic gas – sevoflurane. **Conclusions** The current tests of electrosurgical smoke and fumes have been connected with the resection of healthy tissue. Our research, for the first time, shows the analysis of smoke resulting from the burned tissue resection. The majority of detected compounds has a potentially toxic effect and may constitute risk factors for the theatre personnel, that had not been previously taken into account.

KEY WORDS: burn, diathermia, surgical smoke, theatre personnel exposure

WSTĘP

W międzynarodowej karcie charakterystyki zagrożeń zawodowych zostały zawarte ogólne zagrożenia, jakim poddani zostają członkowie zespołów operacyjnych. Można wymienić między innymi wypadki (ostre narzędzia, prąd elektryczny, gorące powietrze i powierzchnie), czynniki fizyczne (promieniowanie jonizujące i niejonizujące), czynniki biologiczne (wszelkie zakaźne drobnoustroje), czynniki ergonomiczne i psychospołeczne (pozycja i czas pracy) oraz czynniki chemiczne. W tej ostatniej grupie wyszczególniono gazy anestetyczne, takie jak: eter, halotan, bromek etylu, chlorek etylu, podtlenek azotu, metoksyfluoran, środki dezynfekcyjne i detergenty.

Od niedawna zaczęto również dostrzegać problem związany z narażeniem członków zespołu operacyjnego na substancje powstające podczas cięcia tkanek nożem wytwarzającym wysoką temperaturę (noż elektryczny, noż laserowy) [1].

Problem ten wydaje się być szczególnie ważny dla zespołów operujących pacjentów z rozległymi oparzeniami, ponieważ optymalny sposób postępowania chirurgicznego w leczeniu rozległych i głębokich oparzeń polega na szybkim usunięciu tkanek martwych [2]. W tym celu używane są między innymi noże elektryczne, ponieważ ich zastosowanie znacznie redukuje krwawienie śródoperacyjne oraz skraca czas zabiegu. Tymczasem stosowanie tych narzędzi wiąże się z wytwarzaniem wysokiej temperatury podczas zabiegu oraz zwiększeniem ekspozycji na lotne czynniki szkodliwe zawarte w dymie z usuwanych tkanek.

Celem badania była analiza jakościowa oraz ilościowa niepolarnych związków lotnych wydzielających się podczas resekcji oparzonej tkanki z użyciem diatermii.

MATERIAŁ I METODY

PRZEBIEG EKSPERYMENTU

Badanie zostało przeprowadzone podczas operacji resekcji oparzonej tkanki z użyciem diatermii, wykonanej

w Zachodniopomorskim Centrum Leczenia Ciężkich Oparzeń i Chirurgii Plastycznej w Gryficach. Operacja odbyła się na centralnym bloku operacyjnym, gdzie operuje wiele zespołów jednocześnie. Analiza niepolarnych związków lotnych obecnych w dymie operacyjnym została przeprowadzona przy użyciu metody ekstrakcji do fazy stałej (SPME). Włókna SPME zostały umieszczone w odległości około 100 cm od operatora. Czas ekspozycji włókien wynosił 30 minut i rozpoczął się wraz z początkiem zabiegu. Zebrany materiał został zabezpieczony w temperaturze 4°C do czasu przeprowadzenia analizy chromatograficznej.

PACJENT

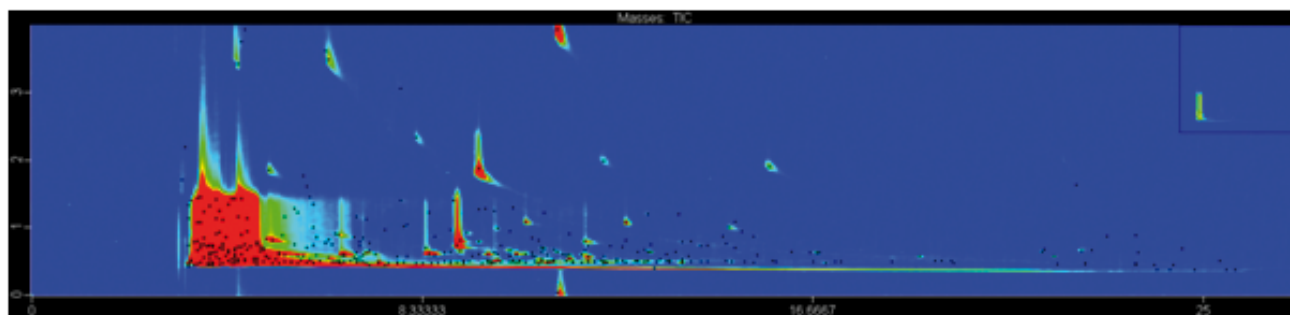
Operowany uczestnik badania był pacjentem Zachodniopomorskiego Centrum Leczenia Ciężkich Oparzeń i Chirurgii Plastycznej w Gryficach. Pacjent został zakwalifikowany do zabiegu w pierwszej dobie po oparzeniu termicznym, które zajmowało ponad 30% powierzchni ciała. Głębokość oparzenia została oszacowana na III stopień.

ANALIZA NIEPOLARNYCH ZWIĄZKÓW LOTNYCH

Analiza niepolarnych związków lotnych została przeprowadzona za pomocą ekstrakcji do fazy stałej przy użyciu włókien SPME (Carboxen/PDMS SPME Fiber, Agilent Technologies). Włókna zostały przeanalizowane na chromatografie gazowym sprzężonym ze spektrometrią mas (GCxGC/MS system Pegasus 4, Agilent 6890N, Agilent Technologies). Skład włókien został rozdzielony na kolumnach o następujących parametrach: DB-5MS column (25 m × 0,200 mm × 0,33 μm, Agilent Technologies) oraz BPX-50 (1,090 m × 0,100 mm × 0,1 μm, SGE, Australia).

WYNIKI

Przeprowadzona analiza chromatograficzna wykazała obecność ponad 400 niepolarnych związków lotnych. Na Ryc. 1 przedstawiono wyniki analizy chromatograficznej



Ryc. 1. Analiza chromatograficzna próby badanej.

próby badanej. Wyniki przedstawiają związki chemiczne, które stanowiły ponad 0,15% składu analizowanego dymu operacyjnego. W Tabeli 1 zestawiono procentową zawartość związków dymu operacyjnego, które stanowiły od 0,15% do 0,5% składu analizowanego dymu. W Tabeli 2 zostały zaprezentowane związki, których udział procentowy stanowił ponad 0,5% wszystkich związków obecnych w analizie.

OMÓWIENIE

Amerykańska Agencja ds. Zdrowia i Bezpieczeństwa (ang. Occupational Safety and Health Administration – OSHA) szacuje, iż około 500 tysięcy amerykańskich pracowników służby zdrowia jest narażonych na substancje powstające podczas zabiegów chirurgicznych z użyciem narzędzi wytwarzających wysoką temperaturę, takich jak diatermia czy nóż laserowy [3]. Dym operacyjny jest mieszaniną gazową substancji lotnych oraz drobnych cząstek stałych o średnicy od 0,07 do 0,42 μm .

Cząstki stałe stanowią około 5% dymu. Są to fragmenty bakterii, wirusów, grzybów oraz operowanej tkanki [4, 5]. Jak dotąd skład chemiczny dymu nie został jeszcze dobrze poznany. Przeprowadzone analizy resekcji tkanek nieoparzonych wskazywały na zwiększoną obecność: tlenku węgla, dwutlenku węgla, prostych węglowodorów aromatycznych i alifatycznych, alkoholi oraz aldehydów [4–8].

Nieliczne badania laboratoryjne przeprowadzone na komórkach oraz zwierzętach dowodzą, że dym ulatniający się podczas operacji ma działanie mutagenne. Można przyjąć, iż usunięcie 1 grama tkanki będzie miało porównywalnie kancerogeny skutek jak wypalenie 3–6 papierosów nieposiadających filtra [9]. Badania przeprowadzone na komórkach raka sutka (MCF-7) wykazały wysoką cytotoxycyzość ekstraktu dymu operacyjnego zebranego podczas operacji diatermią wątroby świni [10].

Wszystkie dotychczasowe analizy składu dymu operacyjnego były związane z resekcją tkanki zdrowej. Prezentowane w niniejszej pracy badania po raz pierwszy pokazują analizę dymu powstającego podczas resekcji tkanki oparzonej. 30% analizowanych substancji stanowi ester metylenowy kwasu

Tabela 1. Związki, które stanowiły 0,15–0,5% składu badanego dymu operacyjnego.

Nazwa związku	[%]
(2-Aziridinyethyl)amine	0,26
(S)-(+)-1,2-Propanediol	0,15
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl 2-ethylhexyl ester	0,45
1-Butanol	0,29
1-Hexanol, 2-ethyl-	0,16
1-Methoxy-2-propyl acetate	0,14
2-Heptanone	0,19
2-Undecanethiol, 2-methyl-	0,25
3-Pentanone	0,31
3-S-Acetyl-1,2-O-isopropylidene-3-thio β -allofuranose	0,36
4-Nonene, 3-methyl-, (Z)-	0,23
7-Heptadecyne, 17-chloro-	0,23
Acetic acid, butyl ester	0,17
Acetic acid, dichloro-, ethyl ester	0,21
Aminocaproic Acid	0,30
Benzene	0,26
Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	0,16
Benzenemethanol, 2-methyl-	0,25
Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6,6-trimethyl-, (r \acute{e})-	0,18
Cyclopentane, 1,1,3,4-tetramethyl-, cis-	0,34
Cyclopentane, methyl-	0,41
Cyclopentaneacetic acid, 3-oxo-2-pentyl-, methyl ester	0,39
Cyclopropane, nonyl-	0,37
Ethanamine, 2-methoxy-	0,30
Ethanedinitrile	0,36
Isopropyl Alcohol	0,44
Longipinane, (E)-	0,10
Methanecarbothiolic acid	0,31
Methylene Chloride	0,45
Nonanoic acid, methyl ester	0,21
Pentalene, octahydro-2-methyl-	0,15
Pentanenitrile	0,15
Trichloromethane	0,44
s-Trioxane, 2,4,6-triethyl-	0,19

octowego. Substancja ta jest zakwalifikowana jako związek łatwopalny, drażniący błony śluzowe, a w dużych stężeniach może również doprowadzić do uszkodzenia dróg oddechowych czy aparatu wzrokowego [11, 12]. Kolejną grupą substancji, która łącznie stanowiła prawie 12% badanych związków, jest heksan wraz z pochodnymi. Przewlekłe narażenie inhalacyjne na tę grupę związków może być związane z: drętwieniem kończyn, osłabieniem mięśni, zaburzeniami widzenia, bólami głowy i odczuwaniem przewlekłego zmęczenia [13]. Badania przeprowadzone na szczurach pokazały, że przewlekła ekspozycja na heksan powoduje silne działanie neurotoksyczne, jak również zmiany zapalne nabłonka jamy nosowej [14]. Ekspozycja na pochodne benzenu (ksylen, toluen, styren) powoduje: bóle głowy, bezsenność, brak apetytu, zaburzenia gastryczne, zaburzenia koordynacji oraz ogólne osłabienie [6]. Należy jednak zauważyć, że prawie wszystkie składniki dymu operacyjnego podrażniają błony śluzowe dróg oddechowych oraz śluzówki oczu. Zaburzenie wydzielania śluzu doprowadza do wysuszenia dróg oddechowych. Podobne zjawisko jest obserwowane u czynnych palaczy. Osoby takie są bardziej narażone na infekcje bakteryjne, wirusowe, grzybicze oraz choroby, które są związane z patogenami współlokalnymi w dymie operacyjnym [7].

Analiza substancji w dymie operacyjnym wykazała również obecność jednego z gazów anestetycznych – sewofluranu. Niebezpieczeństwo ekspozycji na ten środek stanowi temat wielu prac badawczych i jest głównym czynnikiem brany pod uwagę podczas analizy możliwych zagrożeń, na jakie narażeni są członkowie zespołów operacyjnych. Prezentowane badania własne pokazują, że gaz, który był użyty podczas znieczulenia pacjenta, stanowił niecałkowicie 0,7% wszystkich związków. W świetle tych badań wydaje się, że szacowanie zagrożenia inhalacyjnego nie powinno być rozpatrywane tylko pod względem narażenia na sewofluran [15–20].

WNIOSKI

Bezpieczeństwo członków zespołu operacyjnego powinno być bezwzględnie priorytetem podczas zabiegów operacyjnych. Aby skutecznie chronić pracowników oddziałów oparzeń, niezbędna jest dokładna identyfikacja substancji toksycznych, na jakie narażeni są pracownicy. Należy również rozważyć, czy dotychczasowe środki zapobiegające ekspozycji są w tym przypadku wystarczające, aby chronić zdrowie i życie personelu medycznego. Uzyskanie kompleksowych informacji o istniejących zagrożeniach powinno stanowić priorytet.

KONFLIKT INTERESÓW: nie zgłoszono.

Tabela 2. Związki, które stanowiły ponad 0,5% składu badanego dymu operacyjnego.

Nazwa związku	[%]
2,2'-Dipiperidine	1,03
2-Propanol, 1-hydrazino-	1,08
2-Propanol, 1-methoxy-	1,39
3-Buten-1-ol	0,54
Acetic acid, methyl ester	30,21
Acetic acid, trichloro-, methyl ester	1,03
Acetone	1,09
Benzene, (1-ethylnonyl)-	0,54
Butane, 2-isothiocyanato-	0,93
Butane, 2-methyl-	1,06
Butyrolactone	2,80
Camphene	0,65
Cyclohexene	0,67
Ethyl Acetate	1,25
Ethylbenzene	1,31
Furfural	1,02
Heptane, 2,4-dimethyl-	0,84
Hexane	1,39
Hexane, 1-chloro-5-methyl-	10,48
Nonadecane	0,84
Nonane, 3,7-dimethyl-	0,53
Oxalic acid, isobutyl nonyl ester	1,94
Pentanoic acid, 4-oxo-	0,92
Phenylethyne	0,77
Propanoic acid, 2-methyl-, 3-hydroxy-2,4,4-trimethylpentyl ester	6,32
Propylene Glycol	1,72
Sevoflurane	0,66

PIŚMIENNICTWO

1. Międzynarodowa Karta Charakterystyki Zagrożeń Zawodowych. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy; <http://www.ciop.pl/10925.html>
2. Strużyna J. Wczesne Leczenie Oparzeń. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, pp. 168–169.
3. Gates MA, Feskanich D, Speizer FE, Hankinson SE. Operating room nursing and lung cancer risk in a cohort of female registered nurses. *Scand J Work Environ Health* 2007;33(2):140–147.
4. Karsai S, Däschlein G. "Smoking guns": hazards generated by laser and electrocautery smoke. *J Dtsch Dermatol Ges* 2012;10(9):633–636.
5. Al Sahaf OS, Vega-Carrascal I, Cunningham FO, McGrath JP, Bloomfield FJ. Chemical composition of smoke produced by high-frequency electrosurgery. *Ir J Med Sci* 2007;176(3):229–232.
6. Lewin JM, Brauer JA, Ostad A. Surgical smoke and the dermatologist. *J Am Acad Dermatol* 2011;65(3):636–641.
7. Occupational Safety and Health Administration. 12. OSHA Preambles Air Contaminants (29 CFR 1910.1000). VI. Health Effects Discussion and Determination of Final PEL. Occupational Safety and Health Administration, Washington D.C., 2006.
8. Occupational Safety and Health Administration. 13. OSHA Regulations (Standards – 29 CFR, 1910.1028 App A). Substance safety data sheet, Benzene. Occupational Safety and Health Administration, Washington D.C., 2006.

9. Tomita Y, Mihashi S, Nagata K et al. Mutagenicity of smoke condensates induced by CO₂-laser irradiation and electrocauterization. *Mutat Res* 1981;89(2):145–149.
10. Hensman C, Newman EL, Shimi SM, Cuschieri A. Cytotoxicity of electrosurgical smoke produced in an anoxic environment. *Am J Surg* 1998;175(3):240–241.
11. Bingham E, Cofrancesco B, Powell CH (eds). *Patty's Toxicology*, Volumes 1–9. 5th edn. John Wiley & Sons, New York, 2001, pp. 6–565.
12. Kumagai S, Oda H, Matsunaga I, Kosaka H, Akasaka S. Uptake of 10 polar organic solvents during short-term respiration. *Toxicol Sci* 1999;48(2):255–263.
13. World Health Organization. International Programme on Chemical Safety; Poisons Information Monograph no. 368. World Health Organization, Geneva, 1990, pp.1–31.
14. Iwata M, Takeuchi Y, Hisanaga N, Ono Y. Changes of n-hexane metabolites in urine of rats exposed to various concentrations of n-hexane and to its mixture with toluene or MEK. *Int Arch Occup Environ Health* 1983;53(1):1–8.
15. Hoerauf KH, Koller C, Taeger K, Hobbhahn J. Occupational exposure to sevoflurane and nitrous oxide in operating room personnel. *Int Arch Occup Environ Health* 1997;69(2):134–138.
16. Byhahn C, Heller K, Lischke V, Westphal K. Surgeon's occupational exposure to nitrous oxide and sevoflurane during pediatric surgery. *World J Surg* 2001;25(9):1109–1112.
17. Hoerauf K, Funk W, Harth M, Hobbhahn J. Occupational exposure to sevoflurane, halothane and nitrous oxide during paediatric anaesthesia. Waste gas exposure during paediatric anaesthesia. *Anaesthesia* 1997;52(3):215–219.
18. Hoerauf K, Hosemann W, Wild K, Hobbhahn J. Exposure of operating room personnel to anesthetic gases during ENT interventions. *HNO* 1996;44(10):567–571.
19. Kupczewska-Dobecka M, Soćko R. Assessment of health risk of sevoflurane and isoflurane exposure among surgical staff: a problem for employers. *Med Pr* 2006;57(6):557–566.
20. Kucharska M, Wesółowski W. Ocena narażenia zawodowego personelu medycznego na anestetyki wziewne w Polsce. *Med Pr* 2014;65(1):43–54.