

Škodljivost »kirurškega dima« – pregled literature

Risks Associated with »Surgical Smoke«

– A Review of the Literature

Avtorja:

Vid Janša, zdravnik specializant

UKC Ljubljana

Neva Metelko Janša, zdravnica pripravnica

UKC Ljubljana

Izveček

Harmonični (ultrazvočni) skalpel, elektrokirurški instrumenti in laserska ablacija proizvajajo stranske produkte, ki jih imenujemo »kirurški dim«. Sum, da je kirurški dim nevaren za kirurško ekipo, je vodil do številnih raziskav in nekateri raziskovalci so v njem odkrili sestavine, ki so lahko škodljive za zdravje. Glede na to, da obstajajo potencialna tveganja za zdravje zaposlenih, so potrebni preventivni ukrepi za zaščito zdravja. Najbolj učinkovito je odsesavanje dima.

Ključne besede: kirurški dim, harmonični skalpel, elektrokavterizacija, laser, tveganja na delovnem mestu.

Abstract

Electrosurgery, laser ablation and ultrasonic scalpel dissection create a gaseous by-product commonly referred to as surgical smoke or plume. Concern about this smoke has led to numerous investigations. Some of the findings from these investigations have led to significant concerns regarding the safety of surgical smoke. Smoke evacuation devices have been shown to be effective in limiting exposure to the potential health hazards of smoke.

Key words: surgical smoke, harmonic scalpel, electrocautery, laser, occupational hazards.



Slika 1: "Kirurški dim" vsebuje mnoge potencialno škodljive kemične in biološke sestavine.

UVOD

Harmonični (ultrazvočni) skalpel, elektrokirurški instrumenti (mono- in bipolaren elektrokavter) ter laserska ablacija tkiva veljajo za revolucionarne pridobitve sodobne kirurgije. Ob uporabi teh tehnik pride do destrukcije tkiva, ob tem pa se sproščajo plinasti stranski produkti, ki jih poenostavljeno imenujemo »kirurški dim«. Laserske in ultrazvočne naprave povzročajo sproščanje večjih delcev, kar lahko predstavlja tveganje za zdravje ekipe, ki opravlja posege, predvsem zaradi vsebovanih bioloških agensov. Uporaba elektrokirurških tehnik pa povzroča nastajanje dima, torej zelo drobnih delcev, ki lahko z vdihavanjem vstopajo v organizem osebe. Tveganje za zdravje pri tej tehniki je povezano z vsebnostjo različnih kemičnih snovi v dimu.

Pri **elektrokavterizaciji** nastajajo delci reda velikosti $0,07\mu\text{m}^{1,2}$. V dimu, ki nastaja pri tej tehniki, so odkrili ogljikovodike, nitrile, maščobne kisline in fenole³. V največjih količinah sta prisotna ogljikov monoksid in akrilonitril, v manjših količinah pa še vodikov cianid, formaldehid in benzen. Gre za snovi, ki imajo zelo škodljive učinke na zdravje. Benzen in akrilonitril sta rakotvorna, benzen poleg tega povzroča še mutacije, vodikov cianid je zelo strupena snov, formaldehid pa je dražeč plin. Znano je, da se lahko med laparoskopsko operacijo v intraperitonealnem prostoru sproščajo tako velike količine zelo strupenega ogljikovega monoksida, da lahko z absorpcijo v krvni obtok pride do sistemske zastrupitve^{4,5}. Akrilonitril se poleg tega zlahka absorbira preko kože in dihal ter deluje toksično, saj se metabolizira v cianid (6). Izpostavljenost akrilonitrilu pri osebju v operacijski dvorani naj bi bila po dosegljivih podatkih raziskav tik pod dovoljeno mejo⁴. Vodikov cianid je toksičen plin, ki se absorbira preko dihal, prebavi in kože⁴. Vstopa v interakcije z železovimi ioni in citokrom oksidazo ter tako inhibira celični metabolizem kisika. Izmerjene količine v operacijski dvorani so bile na meji dovoljenega.

Fletcher s sodelavci je v raziskavi ugotovil, da dim elektrokavterija ne ogroža zdravja kirurške ekipe le zaradi svoje kemične sestave, ampak tudi zaradi sproščanja živih celic. V dimu, proizvedenem ob elektrokavterizaciji melanoma, so identificirali žive melanomske celice⁷. Količina živih celic je bila odvisna od količine uporabljene energije za elektrokavterizacijo.

Pri **laserski ablaciji tkiva** nastaja dim, ki vsebuje večje delce kot dim pri elektrokavterizaciji. Nastajajo delci velikosti $0,31\mu\text{m}^8$, ki vsebujejo mnoge kemične snovi, kot so benzen, formaldehid, akrolein, ogljikov monoksid in vodikov cianid⁹. Poleg kemičnih komponent so v dimu zaznali tudi celične elemente in eritrocite, kar je vzbudilo sum, da bi dim lahko vseboval tudi biološko aktivne delce (10). Pri nadaljnjih raziskavah so ob terapiji plantarnih bradavic in ponavljajoče respiratorne papilomatoze v dimu dokazali prisotnost genetskega materiala humanega papiloma virusa^{11,12}. Raziskave so pokazale, da je možen tudi prenos virusa HIV, vendar je ta manj obstojen in se verjetno zaradi termične reakcije pri posegu spremeni genetski material¹³. Iz laserskega dima so izolirali tudi žive bakterije, in sicer *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* in *Mycobacterium tuberculosis*¹⁴. Poleg tveganj zaradi škodljivih učinkov dima, ki vsebuje prej omenjene kemične snovi, se je potrebno zavedati, da pri laserski ablaciji tkiva obstaja tudi veliko tveganje za izpostavljenost biološkim agansom.

Največji delci so prisotni v dimu, proizvedenem ob uporabi **ultrazvočnega (harmoničnega) skalpela**, in sicer gre za delce velikosti $0,35\text{--}6,5\mu\text{m}^{15}$. Tak dim vsebuje veliko količino celičnih elementov¹⁵. Ugotovljeno je bilo, da se ob uporabi ultrazvočnega skalpela aerosol tekočin (kri ali serum) širi tudi do razdalje 40 cm od operativnega polja¹⁵. Največ delcev nastaja ob disekciji maščobnega tkiva. Ultrazvočni skalpel povzroča nizko temperaturno uparjanje, pri katerem ne pride do razgradnje tkiva in to pomeni možnost večje infektivnosti sproščenih bioloških agensov¹⁶.

Kirurška ekipa in bolnik -

oboji so izpostavljeni tveganju za zdravje zaradi kirurškega dima.

POTENCIALNA TVEGANJA KIRURŠKEGA DIMA

Kirurški dim dokazano predstavlja potencialno tveganje za zdravje kirurške ekipe in tudi bolnika. Nevarnost za bolnika je predvsem med laparoskopskimi kirurškimi posegi, ko se dim lahko koncentrira v peritonealni votlini, kar lahko povzroči prehajanje kemičnih komponent v krvni obtok¹⁷. Hkrati je ob resekciji malignih procesov potencialna možnost za širjenje malignih celic^{7,17}. Tveganja za zdravje za kirurško ekipo pa vključujejo predvsem dražeč učinek na dihala, možnost širjenja okužb, genotoksičnost in citotoksičnost^{1,17,18}. Problematična je tudi dolgotrajna, vsakodnevna izpostavljenost osebja.

Alp s sodelavci¹⁸ je opredelil in predvidel možne vplive kirurškega dima na zdravje kirurške ekipe glede na analizo sestave kirurškega dima (Tabela 1), vendar ti zaključki ne temeljijo na poglobljeni epidemiološki študiji in predstavljajo zgolj hipotetična dejstva, ki jih je potrebno še potrditi z raziskavami.

Akutna ali kronična vnetja dihal (bronhitis, astma, emfizem)	Hepatitis
Anemija	Okužba z HIV
Anksioznost	Solzenje
Srčno-žilni zapleti	Levkemija
Kolike	Navzea, bruhanje
Dermatitis	Kihanje
Dražeč učinek na oči	Draženje žrela
Glavobol	Oslablost
Karcinomska obolenja	Hipoksija

Tabela 1: Možna tveganja za kirurško ekipo glede na sestavo kirurškega dima¹⁸.

Baggish s sodelavci je na laboratorijskih podganah, izpostavljenim visokim koncentracijam kirurškega dima, dokazal nastanek intersticijskih zgostitev, bronhiolitisa in emfizema^{19,20}. Na dihalih podgan, izpostavljenih dimu, filtriranemu skozi sistem, ki zadrži delce do $0,1\mu\text{m}$, niso ugotavljali kliničnih ali histoloških sprememb. S tem je dokazal, da ima uporaba varovalne opreme, ki zadrži delce dima, pozitivne učinke.

Freitag s sodelavci je učinke dražečih komponent na zdravje raziskoval na ovcah in dokazal, da dražeče snovi povzročijo razvoj kroničnih vnetnih sprememb, kot so alveolarne zgostitve, intersticijske pljučnice, bronhiolitisa in emfizema²¹.

Dokazano je tudi, da je kirurški dim mutagen, torej genotoksičen²²⁻²⁴. Verjetno je genotoksičnost multifaktorska in nanjo vplivajo tako kemične snovi kot tudi biološki agensi, ki so prisotni v dimu. Nekoliko novejša študija mutagenosti kirurškega dima primerja celodnevno izpostavljenost kirurškemu dimu s pokajenimi 27-30 cigaretami¹. Od kemičnih sestavin dima je za mutagenost najbolj odločilen benzen. Znan je tudi prenos HPV okužbe z dimom, ki je povzročila maligno bolezen²⁵.

Dim, proizveden v nadzorovanih laboratorijskih pogojih z elektrokavterizacijo svinjskih jeter, je za 30 % zmanjšal celično viabilnost celične kulture, kar kaže na citotoksičnost kirurškega dima²⁶, vendar je bila omenjena raziskava izvedena v specifičnem laboratorijskem okolju (v helijski atmosferi) in zato zaključkov ne moremo preprosto prenašati v okolje operacijskih dvoran.

Opozoriti je potrebno, da je relativno malo raziskovalnih podatkov pridobljenih iz okolja operacijskih dvoran, ki bi dokazali vpliv kirurškega dima na ljudi. Mnogi avtorji zato v svojih člankih izpostavljajo pomanjkanje realnih podatkov in spoznanj za utemeljene zaključke glede neposrednega negativnega vpliva kirurškega dima na kirurško ekipo^{27,28}. Redke so raziskave, kjer so nedvoumno dokazane povezave. Ena od teh je raziskava, ko je Hallmo opisal primer kirurga z farigealnim papilomom, ki je bil redno izpostavljen kirurškemu dimu ob oskrbi ano-genitalnih bradavic in ni bilo druge možnosti kontakta z virusom²⁹. Opisan je tudi primer laringealne papilomatoze kot »poklicne bolezni« pri medicinski sestri, ki je sodelovala pri zdravljenju bolnikov z papilomatozo²⁵. Raziskava, ki je temeljila na vprašalniku za kirurško osebje, kaže, da ti zaznavajo pogostejšo pojavnost glavobolov, draženje sluznice zgornjih dihal, rinitis, draženje oči in kašelj³⁰. Pojavnost simptomov je bila v povezavi s časom izpostavljenosti. Simptomi so pogostejši in močnejši, čim dlje je osebje izpostavljeno kirurškemu dimu.

PREVENTIVNI UKREPI

Odločitev o izbiri operativne tehnike je v domeni operaterja in je odvisna od znanja in veščin kirurga ter od primernosti bolnika glede na zahteve uporabljene tehnike. Raziskave kažejo, da bi bilo v določenih primerih smiselno, da bi odločitev o uporabljeni operativni tehniki upoštevala tudi druge vidike, povezane s tveganjem za zdravje kirurške ekipe³¹. Tako bi bilo potrebno upoštevati, ali so pri bolniku poznana specifična biološka tveganja in ali je v operacijski dvorani morda nezadostno prezračevanje. Vsekakor pa so ob prednostih elektrokirurških, laserskih in ultrazvočnih tehnik alternativne možnosti zelo omejene, zato so toliko bolj pomembni drugi ukrepi, ki zmanjšajo izpostavljenost osebja.

Med najbolj učinkovitimi preventivnimi ukrepi za zmanjševanje tveganja za zdravje je **odsosavanje kirurškega dima na viru nastajanja**, seveda v kolikor so naprave za odsosavanje uporabljene pravilno in je odsosavanje učinkovito. Študije so pokazale, da se je koncentracija dima v okolici dihal operaterja zmanjšala za več kot 98 %, če je bil aspirator od operativnega polja

oddaljen manj kot 1 cm, v oddaljenosti več kot 2 cm pa je začela učinkovitost odsosavanja strmo padati³². Odsosavanje je lahko kombinirano s filtracijo zraka preko t. i. HEPA filtrov (High Efficiency Particulate Air), kar je pomembno predvsem zaradi odstranjevanja infektivnih delcev. V skladu z navodili proizvajalca morajo biti filtri redno pregledovani in v določenih intervalih zamenjani. Pri menjavi filtrov je potrebno posebno pozornost posvetiti odstranjevanju le-teh, saj lahko vsebujejo biološko aktivne celice ali celične delce³¹. Takšne filtre je potrebno odlagati med infektivne odpadke. Za zmanjševanje tveganj, povezanih s kirurškim dimom, je pomembno tudi splošno prezračevanje operacijske dvorane, ki mora zagotoviti, da se celoten volumen zraka zamenja vsaj 15-krat v eni uri³³. Takšno izmenjevanje zraka učinkovito preprečuje kopičenje škodljivih produktov kirurškega dima v prostoru. V operacijski dvorani je potrebno vzdrževati nadtlak. Pomembna je tudi usmerjenost zračnih tokov nad operativnim poljem. Svež in ustrezno filtriran zrak mora prihajati od zgoraj, odsosavanje iz prostora pa mora biti locirano pri tleh. Pomembno je, da je tok zraka nad operativnim poljem laminaren in da ne nastajajo turbulence, ki bi lahko bile vir vnosa škodljivih agensov v operativno polje.

Pomembna je tudi uporaba **osebnih varovalnih sredstev za osebje**. Kirurška maska je sicer uporabljena bolj v higienske namene, kot zaščita bolnika pred infekti kirurške ekipe, zelo pomembna pa je tudi zaščita zaposlenih v operacijski dvorani pred nevarnostmi kirurškega dima. Klasična kirurška maska ščiti pred delci, večjimi od 5 μm ^{34,35}. Maske z boljšo učinkovitostjo filtriranja, na primer maske z oznako FFP 3, ščitijo pred delci velikosti do 0.1 μm in zaustavijo mnoge infektivne ter onkogene delce. Kirurški dim v 77 % vsebuje delce, manjše od 1.1 μm ³⁶. Kljub uporabi mask z učinkovitejšim filtriranjem, ki so vsekakor boljša zaščita dihal kot klasične kirurške maske, pa uporabnik ni varen pred virusnimi delci, ki so velikosti 0.1 μm . Posebna pozornost je potrebna pri pravilni uporabi mask, ki se morajo tesno prilegati obrazu, menjati pa jih moramo pogosto, saj sčasoma izgubljajo učinkovitost³⁷.

Odsosavanje je lahko

učinkovit način preprečevanja škodljivih posledic kirurškega dima, pomembna so tudi

osebna varovalna sredstva.

ZAKLJUČEK

Podatki in rezultati številnih raziskav kažejo na potencialno nevarnost kirurškega dima za zdravje osebja v operacijski dvorani. Epidemioloških študij, ki bi nedvoumno dokazale povezavo med izpostavljenostjo kirurškemu dimu in pojavom bolezni, še ni, prav tako je še zelo malo podatkov o dejanski obremenitvi zaposlenih in o resnosti tveganja za njihovo zdravje, je pa dovolj indicev, ki kažejo na to, da tveganja so in da jih je potrebno z ustreznimi ukrepi zmanjševati. Zaradi prisotnosti škodljivih kemičnih snovi in bioloških agensov pri najnovejših operativnih tehnikah je potrebno dosledno upoštevati preventivne ukrepe glede odsesavanja, prezračevanja in uporabe osebne varovalne opreme ter vsa navodila za varno delo. Za zaščito tako pacienta kot tudi zdravstvenega osebja bi bila namesto klasičnih kirurških mask smotrna in potrebna uporaba mask z oznako FFP 3. 60

LITERATURA

- Hill DS, O'Neill JK, Powell RJ, Oliver DW. Surgical smoke - a health hazard in the operating theatre: a study to quantify exposure and a survey of the use of smoke extractor systems in UK plastic surgery units. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2012; 65 (7): 911-6.
- Heinsohn P, Jewett D L, Balzer L, et al. Aerosols created by some surgical power tools: particle size distribution and qualitative hemoglobin content. *App Occu Environ Hyg.* 1991; 6: 773-6.
- Hensman C, Baty D, Willis RG, Cuschieri A. Chemical composition of smoke produced by high-frequency electrosurgery in a closed gaseous environment. An in vitro study. *Surg Endosc.* 1998; 12 (8): 1017-9.
- Wu JS, Luttmann DR, Meiningner TA and Soper NJ. Production and systemic absorption of toxic byproducts of tissue combustion during laparoscopic surgery. *Surg Endosc.* 1997; 11: 1075-9.
- Wilks SS. Effects of pure carbon monoxide gas injection into the peritoneal cavity of dogs. *J Appl Physiol.* 1959; 14: 311-2.
- De Smedt T, De Cremer K, Vleminckx C et al. Acrylonitrile exposure in the general population following a major train accident in Belgium: A human biomonitoring study. *Toxicol Lett.* 2014; 16 (14): S0378-4274.
- Fletcher JN, Mew D, DesCoteaux JG. Dissemination of melanoma cells within electrocautery plume. *Am J Surg.* 1999; 178 (1): 57-9.
- Nezhat C, Winer WK, Nezhat F, Nezhat C, Forrest D, Reeves WG. Smoke from laser surgery: is there a health hazard? *Lasers Surg Med.* 1987; 7(4):3 76-82.
- Kokosa JM, Eugene J. Chemical composition of laser - tissue interaction smoke plume. *J Laser App.* 1989; 3: 59-3.
- Walker NP, Mathews J, Newsome SW. Possible hazards from irradiation with the carbon dioxide laser. *Lasers Surg Med.* 1986; 6: 84-6.
- Garden JM, O'Banion K, Shelnitz L et al. Papillomavirus is the vapor of carbon dioxide laser-treated verrucae. *JAMA.* 1988; 8: 1199-202.
- Ferenczy A, Bergeron C, Richart RM. Carbon dioxide laser energy disperses human papillomavirus deoxyribonucleic acid onto treatment fields. *Am J Obstet Gynecol.* 1990; 163: 1271-4.
- Baggish M, Poesis B, Joret D, et al. Presence of human immunodeficiency virus DNA in laser smoke. *Lasers Surg Med.* 1991; 11: 197-203.
- Walker B. High efficiency filtration removes hazards from laser surgery. *Br J Theatre Nurs.* 1990; 27 (6): 10--2.
- Ott DE, Moss E, Martinez K. Aerosol exposure from an ultrasonically activated (harmonic) device. *J Am Assoc Gyn Laparoscopists.* 1998; 5 (1): 29-32.
- Johnson GK, Robinson WS. Human Immunodeficiency virus - 1 (HIV - 1) in the vapors of surgical power instruments. *J Med Virology.* 1991; 33: 47-50.
- Barrett WL1, Garber SM. Surgical smoke: a review of the literature. Is this just a lot of hot air? *Surg Endosc.* 2003; 17(6): 979-87.
- Alp E, Bijl D, Bleichrodt RP, Hansson B, Voss A. Surgical smoke and infection control. *Journal of Hospital Infection.* 2006; 62: 1-5.
- Baggish MS, Baltoyannis P, Sze E. Protection of the rat lung from the harmful effects of laser smoke. *Lasers Surg Med.* 1988;8: 248-53.
- Baggish MS, Elbakry M. The effects of laser smoke on the lungs of rats. *Am J Obstet Gynecol.* 1987; 156: 1260-5.
- Freitag L, Chapman GA, Sielczak M, et al. Laser smoke effect on the bronchial system. *Lasers Surg Med.* 1987; 7: 283-8.
- Gatti JE, Bryant CJ, Noone RB, Murphy JB. The mutagenicity of electrocautery smoke. *Plas & Reconstructive Surg.* 1992; 89: 781-4.
- Tomita Y, Mihashi S, Nagata K, et al. Mutagenicity of smoke condensates induced by carbon dioxide- laser irradiation and electrocauterization. *Mutat Res.* 1981; 89: 145-9.
- Gatti JE, Murphy B, Noone RB. Analysis of electrocautery smoke produced during reduction mammoplasty. *Surg Forum.* 1986; 37: 579-80.
- Calero L, Brusis T. Larynxpapillomatose - erstmalige Anerkennung als Berufskrankheit bei einer OP-Schwester. *Laryngo-Rhino-Oto.* 2003; 82: 790-3.
- Hensman C, Newman EL, Shimi SM, Cuschieri A. Cytotoxicity of electrosurgical smoke produced in an anoxic environment. *Am J Surg.* 1998; 175 (3): 240-1.
- 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: 229-32.
- Barret WL, Garber SM. Surgical smoke - a review of the literature. Is this just a lot of hot air? *Surg Endosc.* 2003; 17: 979-87.
- Hallmo P, Naess O. Laryngeal papillomatosis with human papillomavirus DNA contracted by a laser surgeon. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 1991; 248 (7): 425-7.
- King B, McCullough J. Health Hazard Evaluation Report. HETA #2000-0402-3021 Inova Fairfax Hospital Falls Church, Virginia. November 2006(2006a).
- Ball K. Controlling Surgical Smoke: A Team Approach. Information Booklet (2004). IC Medical Inc. 2002 W. Quail Avenue, Phoenix, AZ 85027.
- Sawchuk WS, Weber PJ, Lowy DR, Dzubow LM. Infectious papillomavirus in the vapor of warts treated with carbon dioxide laser or electrocoagulation: detection and protection. *J Am Acad Dermatol* 1989; 21: 41-9.
- AORN position statement on workplace safety. In: Standards, Recommended Practices, and Guidelines. Denver, CO: AORN, Inc; 2004:169-71.
- Chen C, Willeke K. Aerosol penetration through surgical masks. *Am J Infect Control.* 1992; 20: 177-84.
- Weber A, Willeke K, Marchioni R, et al. Aerosol penetration and leakage characteristics of masks used in the health care industry. *Am J Infect Control.* 1993; 21: 167-73.
- Kunachak S, Sobhon P. The potential alveolar hazard of carbon dioxide laser-induced smoke. *J Med Assoc Thai.* 1998; 81(4): 278-82.
- Ball K. Update for nurse anesthetists. Part I. The hazards of surgical smoke. *AANA J.* 2001; 69(2): 125-32