Original article

Investigation of Personnel's Occupational Exposure to Isoflurane Vapor in Hospital Operating Rooms in Sari, Iran

Mahmud Mohammadyan[1]
Fatemeh Taghavi Soghondikolae[2*]
Jamshid Yazdani Charati[3]
Esmael Babanejad[4]
Ariya Soleymani[5]

1- PhD in Professional Health, Associate Professor, Department of Occupational Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
2- MSc Student in Occupational Health Engineering, Sari Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
3- PhD, in Biostatistics, Associate Professor, Department of Statistics and Epidemiology, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
4- PhD in Analytical Chemistry, Assistant Professor, Department of Environmental Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
5- PhD in Anesthesiology (Fellowship of Cardiac Anesthesiology and Intensive Care), Associate Professor, Department of Anesthesiology and Intensive Care, Sari, Iran

***Corresponding author:** Fatemeh Taghavi Soghondikolae, Department of Occupational Health, Sari Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

Email: ftmhtaghavi@gmail.com

Received: 10 September 2018
Accepted: 21 December 2018

ABSTRACT

Introduction and purpose: The personnel of the hospital operating room are constantly exposed to a level of anesthetics. The long-term exposure to anesthetic drugs is associated with adverse health effects, such as neurological effects, liver damages, spontaneous abortion, and congenital abnormalities. Considering the high level of isoflurane use and its anesthetic complications, the present study was conducted to investigate the concentration of isoflurane vapor in the respiratory zone of operating room personnel in the hospitals of Sari, Iran.

Methods: In this descriptive analytical cross-sectional study, the sampling was carried out from the concentration of isoflurane vapor in the respiratory zone of personnel in nine operating rooms of three hospitals in Sari based on the Occupational Safety and Health Administration 103 method using a personal sampling pump and an absorbent tube (Anasorb 747) filled by activated charcoal. The samples were analyzed and determined using a gas chromatograph-flame ionization detector.

Results: The mean score of exposure of operating room personnel to isoflurane vapor was reported as 3.73±6.17 ppm with a maximum of 26.25 ppm and a minimum of 0.04 ppm. The concentration of isoflurane vapor in the respiratory zone of the operating room personnel was higher than the Recommended Exposure Limit by the National Institute for Occupational Safety and Health but lower than Occupational Exposure Limit proposed by the Health and Environment Center of Iran. It is worth mentioning that there was a significant and inverse relationship between the mean score of exposure and the duration of operation period. However, there was no significant difference between the mean scores in close and far positions.

Conclusion: The obtained results of the present study showed that the exposure level of the operating room staff to isoflurane vapor was higher than the recommended exposure levels. Moreover, based on the results, it could be stated that different surgical conditions and operating room, as well as the duration of surgery, are the most effective factors on isoflurane vapor concentration in the operation room.

Keywords: Anesthesia, Hospital, Isoflurane, Occupational exposure, Operating room

▶ **Citation:** Mohammadyan M, Taghavi Soghondikolae F, Yazdani Charati J, Babanejad E, Soleymani A. Investigation of Personnel's Occupational Exposure to Isoflurane Vapor in Hospital Operating Rooms in Sari, Iran. Journal of Health Research in Community. Autumn 2018;4(3): 56-67.

مقاله پژوهشی

بررسی مواجهه شغلی کارکنان با بخار ایزوفلوران در اتاق عمل بیمارستان‌های شهر ساری

محمود محمدیان[1]
فاطمه تقوی سقندیکلایی[2*]
جمشید یزدانی چراتی[3]
اسماعیل بابانژاد[4]
آریا سلیمانی[5]

۱. دکترای بهداشت حرفه‌ای، دانشیار، عضو هیأت علمی گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت ساری، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳. دکترای آمار حیاتی، دانشیار، عضو هیأت علمی گروه آمار زیستی و اپیدمیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۴. دکترای شیمی تجزیه، استادیار، عضو هیأت علمی گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۵. دکترای تخصصی بیهوشی (فلوشیب بیهوشی قلب و مراقبت‌های ویژه)، دانشیار، عضو هیأت علمی گروه بیهوشی و مراقبت‌های ویژه

* نویسنده مسئول: فاطمه تقوی سقندیکلایی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت ساری، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

Email: ftmhtaghavi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۳۰

چکیده

مقدمه و هدف: کارکنان اتاق عمل بیمارستان به‌طور مداوم در معرض سطحی از بیهوش‌کننده‌ها قرار می‌گیرند. تماس مزمن با داروهای بیهوشی با اثرات مضر بهداشتی مانند اثرات عصبی، عوارض کبدی، بروز سقط خود به خودی و اختلالات مادرزادی در ارتباط می‌باشد. با توجه به استفاده زیاد و عوارض بیهوش‌کننده ایزوفلوران، مطالعه حاضر با هدف بررسی غلظت بخار ایزوفلوران در منطقه تنفسی کارکنان اتاق عمل بیمارستان‌های شهر ساری انجام شد.

روش کار: در این مطالعه توصیفی- تحلیلی- مقطعی، نمونه‌برداری از غلظت بخارات ایزوفلوران در منطقه تنفسی کارکنان در نه اتاق عمل از سه بیمارستان شهر ساری براساس روش OSHA 103 (Occupational Safety and Health Administration) به وسیله پمپ نمونه‌بردار فردی و لوله جاذب (Anasorb 747) انجام شد. نمونه‌ها با استفاده از گاز کروماتوگرافی با دتکتور یونیزاسیون شعله‌ای (GC/FID) آنالیز گردیدند و تعیین مقدار شدند.

یافته‌ها: میانگین غلظت مواجهه کارکنان اتاق عمل با بخارات ایزوفلوران معادل ۶/۱۷±۳/۷۳ بخش در میلیون با حداکثر ۲۶/۲۵ بخش در میلیون و حداقل ۰/۰۴ بخش در میلیون بود. غلظت بخار ایزوفلوران در هوای منطقه تنفسی کارکنان اتاق عمل از REL (Recommended Exposure Limit) توصیه‌شده توسط NIOSH (National Institute for Occupational Safty and Health) بیشتر بود؛ اما از OEL (Occupational Exposure Limit) پیشنهادشده توسط مرکز سلامت محیط و کار ایران کمتر بود. شایان ذکر است که بین میانگین غلظت مواجهه و طول دوره عمل با مدت زمان نمونه‌برداری رابطه معنادار و معکوسی به‌دست آمد؛ اما بین میانگین‌ها در دو موقعیت دور و نزدیک تفاوت معناداری مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه نشان دادند که مواجهه کارکنان اتاق عمل با بخارات ایزوفلوران از برخی از حدود مجاز پیشنهادی بیشتر می‌باشد. همچنین، بر مبنای نتایج می‌توان گفت که شرایط متفاوت جراحی‌ها، اتاق عمل و مدت زمان عمل جراحی از مؤثرترین عوامل غلظت بخار ایزوفلوران در اتاق عمل می‌باشند.

کلمات کلیدی: اتاق عمل، ایزوفلوران، بیمارستان، بیهوشی، مواجهه شغلی

◀ **استناد:** محمدیان، محمود؛ تقوی سقندیکلایی، فاطمه؛ یزدانی چراتی، جمشید؛ بابانژاد، اسماعیل؛ سلیمانی، آریا. بررسی مواجهه شغلی کارکنان با بخار ایزوفلوران در اتاق عمل بیمارستان‌های شهر ساری. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، پاییز ۱۳۹۷؛۴(۳): ۶۷-۵۶.

مقدمه

هوای سالم یکی از اساسی‌ترین نیازهای بشر و تمام موجودات زنده می‌باشد. هوای محیط کار کارکنان مشاغل مختلف اغلب

توسط مواد شیمیایی زیان‌آوری که در محل کار آن‌ها مصرف و یا تولید می‌شوند، آلوده می‌گردد [۱]. در طول سده ۱۸۰۰، علاقه‌مندی علمی به مواد بیهوش‌کننده جهت بهبودی سلامتی بیماران طی عمل جراحی و پس از آن رشد زیادی داشت. براساس یک نظرسنجی که توسط مؤسسه کیفیت بیهوشی در سال ۲۰۰۹ انجام شد، بیش از ۸۰۰۰۰ نفر از متخصصان و تکنسین‌های بیهوشی، حدود ۳۰ میلیون فرایند بیهوشی را در ایالات متحده آمریکا در هر سال اداره می‌نمایند [۲]. هوشبرهای استنشاقی، مایعات تبخیرشونده و غیرقابل‌اشتعالی هستند که بیش از ۱۰۰ سال است در مراکز درمانی استفاده می‌شوند. این داروها به شکل مایع بوده و توسط تبخیرکننده‌ها به‌صورت گاز برای بیمار تجویز می‌شوند [۳]. با رشد صنعت، بهداشت و درمان و تعداد رو به افزایش کارکنان از جمله کارکنان اتاق عمل بیمارستان‌ها، پژوهشگران تحقیقات دارویی و دام‌پزشکان در معرض سطحی از بقایای مواد بیهوش‌کننده قرار می‌گیرند [۲]. ایزوفلوران یک ماده بیهوش‌کننده است که می‌تواند بیهوشی را طی چند دقیقه با تنفس غلظت ۳-۰/۵ درصد با ایجاد آرامش عضلانی و ازدست‌دادن هوشیاری القا نماید [۴]. این هوشبر با دیس ریتمی قلبی همراه نبوده و نسبت به هالوتان و انفلوران کمتر تحت متابولیسم قرار می‌گیرد؛ بنابراین در مواردی جایگزی هالوتان می‌گردد [۵].

مطالعات نشان داده‌اند که تماس مزمن با داروهای بیهوشی با اثرات مضر بهداشتی در انسان مانند اثرات عصبی، کبدی، بروز سقط خود به خودی و اختلالات مادرزادی در ارتباط می‌باشد و تماس حاد با غلظت بالا با داروهای بیهوشی جدید، ایزوفلوران، انفلوران و سووفلوران باعث سردرد، تهوع، خواب‌آلودگی، اختلال در هماهنگی و خستگی می‌شود [۶،۷].

کنفرانس بهداشت صنعتی دولتی آمریکا (ACGIH: American Conference of Govermental Industrial Hygienists) حد آستانه مجاز (TLV: Thershold Limit Value) برای انفلوران و ایزوفلوران را ۷۵ بخش در میلیون توصیه نموده است [۸]. مؤسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی (NIOSH) نیز حد تماس پیشنهادی REL را معادل ۲ بخش در میلیون به‌عنوان یک سقف ۶۰ دقیقه‌ای برای گازهای بیهوشی هالوژنه به‌جز نیتروز اکساید دانسته است. در صورت استفاده توأم این بیهوش‌کننده‌ها به همراه نیتروز اکساید، این میزان معادل ۰/۵ بخش در میلیون خواهد بود [۶]. حد تماس توصیه‌شده ملی توسط مرکز سلامت محیط و کار تحت نظارت وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی برای ایزوفلوران معادل ۵۰ بخش در میلیون می‌باشد [۹].

نتایج بسیاری از مطالعات انجام‌شده در مورد میزان آلودگی اتاق‌های عمل و میزان تماس کارکنان نشان داده‌اند که میانگین غلظت ایزوفلوران در هوای اتاق عمل و منطقه تنفسی افراد بالاتر از غلظت مجاز پیشنهادی NIOSH می‌باشد [۱۰،۱۱]. در این راستا، مطالعه انجام‌شده در بیمارستانی در برزیل نشان داد که غلظت بالای گازهای بیهوشی از جمله ایزوفلوران (بیشتر از ۷ بخش در میلیون) موجب برهم‌خوردن تعادل سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی خواهد شد [۱۲]. نتایج مطالعات انجام‌شده توسط Leandro و همکاران در سال ۲۰۱۷ نیز حاکی از آن بودند که در اتاق عمل بدون سیستم پاک‌سازی مناسب، غلظت گاز بیهوشی ایزوفلوران بیشتر از حد مجاز (۲ بخش در میلیون) می‌باشد [۱۳]. علاوه‌براین، بررسی صورت‌گرفته توسط جعفری و همکاران در سال ۲۰۱۸ نشان داد که بیشترین تماس کارکنان اتاق عمل با ایزوفلوران و سووفلوران در نیم ساعت آخر شیفت کاری رخ داده و بین غلظت محیطی و غلظت در ادرار، همبستگی مثبت و معناداری وجود دارد [۱۴].

با توجه به اینکه در بیمارستان‌های ایران به میزان زیادی از بیهوش‌کننده ایزوفلوران استفاده می‌شود، توجه به مفاهیم بهداشت و ایمنی در مواجهات شغلی با بقایای گازهای بیهوشی که ممکن است در طول عمل جراحی از دستگاه‌های تحویل گاز به اتاق عمل نشت پیدا کنند، اهمیت بسیاری دارد. در این ارتباط، مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان تراکم گاز بیهوشی ایزوفلوران در اتاق‌های عمل بیمارستان‌های شهر ساری و نیز بررسی فاکتورهای مؤثر بر آن

در پاییز سال ۱۳۹۷ انجام شد.

روش کار

روش نمونه‌برداری

مطالعه توصیفی- تحلیلی- مقطعی حاضر با هدف ارزیابی تماس شغلی کارکنان اتاق عمل با گاز بیهوشی ایزوفلوران انجام شد. در این پژوهش میزان تماس شغلی کارکنان به روش نمونه‌برداری فردی با لحاظ‌نمودن کلیه مسائل اخلاق پزشکی در سه بیمارستان امام خمینی، بوعلی و شفا در حین نه جراحی در نه اتاق عمل متفاوت بررسی گردید. در هر اندازه‌گیری، چهار ایستگاه کاری در اتاق عمل که شامل: دو ایستگاه در نزدیکی تخت جراحی (ناحیه نزدیک به موقعیت پزشک جراح و دستیار) و دو ایستگاه دور از آن (ناحیه دور در موقعیت متخصص بیهوشی و پرستار اتاق عمل) بود، تعیین شد و در مجموع ۳۶ ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. باید خاطرنشان ساخت که تمامی اندازه‌گیری‌ها در منطقه تنفسی افراد مستقر در اتاق عمل و از زمان شروع بیهوشی بیمار (بازشدن شیر داروی بیهوشی ایزوفلوران) تا پایان القای بیهوشی (بسته‌شدن شیر ایزوفلوران) انجام شد. نمونه‌برداری و تجزیه این گاز با استفاده از روش استاندارد OSHA 103 صورت گرفت [۱۵]. در این روش از لوله جاذب (Anasorb 747 Tubes، ساخت شرکت SKC انگلستان) و پمپ نمونه‌بردار فردی (مارک SIBATA، مدل MP-2N، ساخت ژاپن) برای نمونه‌برداری استفاده گردید. پمپ‌های نمونه‌بردار فردی توسط فلومتر حباب صابون کالیبره شدند و برای داشتن دبی ثابت حین نمونه‌برداری از اوریفیس بحرانی استفاده گردید. بر این اساس در هر دوره نمونه‌برداری، هوا از منطقه تنفسی چهار نفر از کارکنان توسط پمپ نمونه‌بردار فردی با دبی ۰/۰۵ لیتر در دقیقه از لوله جاذب عبور داده می‌شد. باید عنوان نمود که به ازای هر چهار نمونه در یک دوره اندازه‌گیری، یک لوله کربن فعال به‌عنوان شاهد در شرایط محیطی مشابه با نمونه‌ها؛ اما بدون نمونه‌برداری از هوا در نظر گرفته شد. مدت زمان نمونه‌برداری نیز براساس مدت زمان ارائه‌شده در روش استاندارد (حداکثر چهار ساعت) و حداکثر حجم هوای مجاز ۱۲ لیتر برای هر لوله ذغال فعال (مطابق با روش) و نیز اطلاعات به‌دست‌آمده از مدت زمان حداکثر مصرف داروی بیهوشی ایزوفلوران با توجه به نوع عمل جراحی، مدت زمان عمل و وضعیت بیمار تعیین می‌شد که بین ۳۰-۴ دقیقه متغیر بود. در این مطالعه به‌منظور سنجش دما و رطوبت اتاق عمل از دستگاه TES-1366 استفاده شد و اطلاعات به‌دست‌آمده در چک‌لیستی که برای این منظور طراحی شده بود، ثبت می‌گردید.

روش آنالیز نمونه‌ها

پس از پایان نمونه‌برداری، درب لوله‌های نمونه‌برداری توسط درپوش پلاستیکی مخصوص کاملاً بسته و آب‌بندی گردید و لوله‌ها به‌منظور بازیافت نمونه‌ها و آنالیز آن‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شدند. دو قسمت لوله جاذب درون لوله نمونه‌برداری به‌صورت مجزا درون ویال‌های ۲ میلی‌لیتری ریخته شد و ۱ میلی‌لیتر حلال دی‌سولفید کربن به آن اضافه گردید. سپس، درپوش لوله‌ها گذاشته شده و تکان داده شدند. آنالیز نمونه‌های استخراج‌شده از کربن فعال با روش گاز کروماتوگرافی مجهز به دتکتور یونیزاسیون شعله‌ای GC-FID صورت گرفت. پیش از آنالیز نمونه‌ها به‌منظور به‌دست‌آوردن منحنی کالیبراسیون دستگاه، محلول استاندارد ایزوفلوران در غلظت‌های ۱۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ بخش در میلیون تهیه شد و به دستگاه تزریق گردید. سپس مطابق با روش استاندارد، نمونه‌های استخراج‌شده و شاهدها به دستگاه تزریق شدند و غلظت ایزوفلوران در نمونه‌ها تعیین گردید و با استفاده از حجم هوای استاندارد نمونه‌برداری‌شده برای هر نمونه محاسبه گشت. شایان ذکر است که جامعه مورد بررسی در این مطالعه را کارکنان شاغل در اتاق عمل شامل: جراح، تکنسین اتاق عمل، تکنسین بیهوشی و پرستار اتاق عمل که در چهار موقعیت در اتاق عمل با بخارات

بیهوشی ایزوفلوران منتشرشده در اتاق مواجه بودند، تشکیل دادند.

روش آنالیز آماری

به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری نتایج حاصل از نمونه‌برداری بخارات ایزوفلوران در اتاق‌های عمل بیمارستان‌های شهر ساری از نرم‌افزار SPSS 20 استفاده شد. آزمون آماری Kolmogorov–Smirnov جهت بررسی نرمالیتی و آزمون‌های آمار توصیفی برای توصیف داده‌ها به کار رفت. علاوه‌براین، جهت تعیین اختلاف بین میانگین‌ها از آزمون Mann-Whitney و برای تعیین همبستگی بین داده‌ها از آزمون همبستگی Spearman استفاده گردید.

یافته‌ها

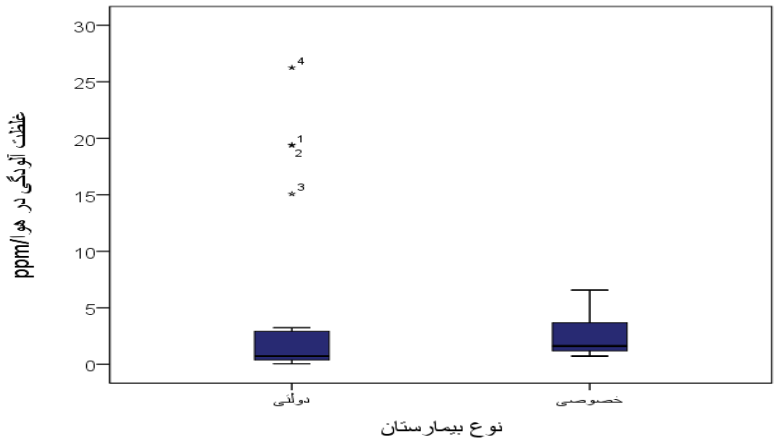
در این مطالعه مواجهه کارکنان اتاق‌های عمل سه بیمارستان امام، بوعلی و شفای شهر ساری توسط ۳۶ نمونه برداشته‌شده از هوای منطقه تنفسی تعیین گردید که ۱۸ مورد در ناحیه نزدیک و ۱۸ مورد در ناحیه دور از تخت جراحی نمونه‌برداری شده بودند. میانگین درجه حرارت اتاق‌های عمل در زمان‌های نمونه‌برداری معادل ۲۰/۲۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی آن ۴۸/۶۶ درصد برآورد گردید. از سوی دیگر، میانگین غلظت بخارات ایزوفلوران حاصل از نمونه‌های بررسی‌شده معادل ۶/۱۷±۳/۷۳ بخش در میلیون بود و کمترین غلظت اندازه‌گیری‌شده بخارات ایزوفلوران در اتاق عمل مربوط به بیمارستان بوعلی معادل ۰/۰۴ بخش در میلیون محاسبه گردید. لازم به ذکر است که بیشترین غلظت در اتاق عمل همان بیمارستان معادل ۲۶/۲۵ بخش در میلیون به‌دست آمد. نتایج آمار توصیفی غلظت بخارات ایزوفلوران اندازه‌گیری‌شده به تفکیک اتاق‌های عمل بیمارستان‌های شهر ساری در جدول ۱ ارائه شده است.

نتایج مطالعه حاضر نشان دادند که اتاق ۱ بیمارستان بوعلی با رنج غلظتی بین ۲۷/۲۸–۱۲/۶۷ بخش در میلیون یکی از آلوده‌ترین

جدول ۱: نتایج آمار توصیفی غلظت بخارات ایزوفلوران (بر حسب Spearman) به تفکیک اتاق‌های عمل بیمارستان‌های شهر ساری

اتاق عمل	تعداد	انحراف معیار±میانگین	میانه	CI ۹۵ درصد	Q2 (Q3-Q1)	حداقل	حداکثر
۸ امام	۴	۰/۴۶±۰/۱۸	۰/۴۸	۰/۱۶-۰/۷۶	۰/۴۸ (۰/۶۳-۰/۲۷)	۰/۲۳	۰/۶۵
۹ امام	۴	۱/۳۴±۱/۳۳	۰/۹۲	۰/۷۷-۳/۴۶	۰/۹۲ (۲/۷۵-۰/۳۵)	۰/۲۹	۳/۲۳
۱ بوعلی	۴	۲۰/۰۲±۴/۶۲	۱۹/۳۹	۱۲/۶۷-۲۷/۳۸	۱۹/۳۹ (۲۴/۵۴-۱۶/۱۵)	۱۵/۰۷	۲۶/۲۵
۲ بوعلی	۴	۰/۷±۱	۰/۲۹	۰/۹۰-۲/۳۰	۰/۲۸ (۱/۷۵-۰/۰۶)	۰/۴۱	۲/۱۹
۴ بوعلی	۴	۱/۲۵±۰/۹۶	۱/۰۱	۰/۲۷-۲/۷۸	۱/۰۱ (۲/۲۶-۰/۴۹)	۰/۳۹	۲/۶۰
۱ شفا	۴	۴/۷۶±۱/۳۱	۴/۵۳	۲/۶۷-۶/۸۵	۴/۵۳ (۶/۰۸-۳/۶۷)	۳/۴۲	۶/۵۷
۳ شفا	۴	۱/۲۶±۰/۵۹	۱/۱۰	۰/۳۱-۲/۲۰	۱/۱۰ (۱/۸۶-۰/۸۱)	۰/۷۲	۲/۱۰
۴ شفا	۴	۲/۴۶±۱/۱۵	۲/۲۷	۰/۶۲-۴/۳۱	۲/۲۷ (۳/۶۵-۱/۴۷)	۱/۴۱	۳/۹۱
۵ شفا	۴	۱/۳۲±۰/۲۸	۱/۳۸	۰/۸۷-۱/۷۸	۱/۳۸ (۱/۵۶-۱/۰۳)	۰/۹۶	۱/۵۸
کل	۳۶	۳/۷۳±۶/۱۷	۱/۳۶	۱/۶۴-۵/۸۲	۱/۳۶ (۳/۳۷-۰/۵۹)	۰/۰۴	۲۶/۲۵

* Q1: میانگین ۲۵ درصد؛ Q2: میانگین ۵۰ درصد؛ Q3: میانگین ۷۵ درصد



نمودار ۱: نمودار جعبه‌ای غلظت بر حسب بخش در میلیون برای دو تیپ بیمارستان

جدول ۲: نتایج آمار توصیفی غلظت بخارات ایزوفلوران (بر حسب بخش در میلیون) به تفکیک موقعیت ایستگاه اندازه‌گیری جراحی‌های انجام‌شده در اتاق عمل بیمارستان‌های شهر ساری

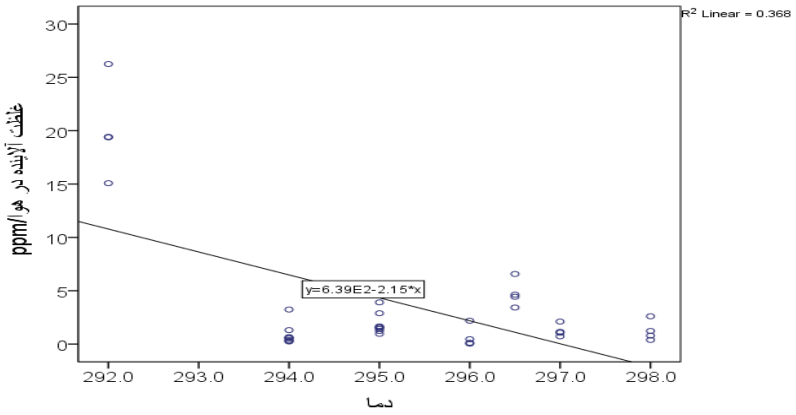
ایستگاه اندازه‌گیری	تعداد نمونه	انحراف معیار±میانگین	۹۵ CI درصد	حداقل	حداکثر
نزدیک به تخت جراحی	۱۶	۴/۱۱±۷/۰۶	۰/۵۹-۷/۶۳	۰/۰۴۱	۲۶/۲۵
دور از تخت جراحی	۱۶	۳/۳۵±۵/۳۰	۰/۷۱-۵/۹۹	۰/۲۳	۱۹/۳۷

اتاق‌های عمل در بین سه بیمارستان شهر ساری می‌باشد. این درحالی است که سایر اتاق‌ها غلظتی کمتر از ۲/۴۶ بخش در میلیون را نشان دادند. همچنین با توجه به ۲ تیپ بیمارستان خصوصی (شفا) و دولتی (امام و بوعلی) که در نمودار ۱ مشخص شده است، میانگین غلظت بخارات ایزوفلوران در اتاق‌های عمل بیمارستان‌های دولتی به میزان ۸/۰۸±۴/۷۵ بخش در میلیون بیشتر از میانگین غلظت در اتاق‌های عمل بیمارستان خصوصی به میزان ۱/۶۸±۲/۴۵ بخش در میلیون بوده است. از سوی دیگر، مقایسه میانگین غلظت بخارات ایزوفلوران در اتاق‌های عمل بیمارستان‌های خصوصی و دولتی شهر ساری با استفاده از آزمون Mann-Whitney نشان داد که بین میانگین غلظت بخارات ایزوفلوران در بیمارستان‌های دولتی و خصوصی اختلاف معناداری وجود ندارد (P=۰/۰۸۳).

نتایج ارائه‌شده در جدول ۲ براساس موقعیت ایستگاه اندازه‌گیری در دو وضعیت نزدیک به تخت جراحی و دور از آن نشان می‌دهند که میانگین غلظت بخارات ایزوفلوران با اختلاف کمی به میزان ۴/۱۱±۷/۰۶ بخش در میلیون در ایستگاه‌های نزدیک به تخت جراحی نسبت به میانگین آن معادل ۳/۳۵±۵/۳۰ بخش در میلیون در موقعیت‌های دور از تخت جراحی بیشتر می‌باشد. در این مطالعه مقادیر حداقل (۰/۰۴ بخش در میلیون) و حداکثر (۲۶/۲۵ بخش در میلیون) غلظت در ایستگاه‌های نزدیک به تخت جراحی به‌دست آمد؛ اما مقایسه میانگین غلظت بخارات ایزوفلوران در اتاق عمل به تفکیک موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری توسط آزمون Mann-Whitney گویای آن بود که بین غلظت بخارات ایزوفلوران در موقعیت ایستگاه‌های

جدول ۳: نتایج آمار توصیفی غلظت بخارات ایزوفلوران (بر حسب بخش در میلیون) به تفکیک نوع بیهوشی بیمار در اتاق عمل بیمارستان‌های شهر ساری

نوع بیهوشی	تعداد نمونه	انحراف معیار±میانگین	۹۵ CI درصد	حداقل	حداکثر
لوله تراشه	۲۰	۴/۷۵±۸/۰۸	۰/۹۷-۸/۵۴	۰/۰۴	۲۶/۲۵
ماسک	۱۲	۲/۸۳±۱/۷۹	۱/۶۸-۳/۹۷	۰/۷۳	۶/۵۷
ماسک- لوله تراشه	۴	۱/۳۲±۰/۲۸	۰/۸۷-۱/۷۸	۰/۹۶	۱/۵۸

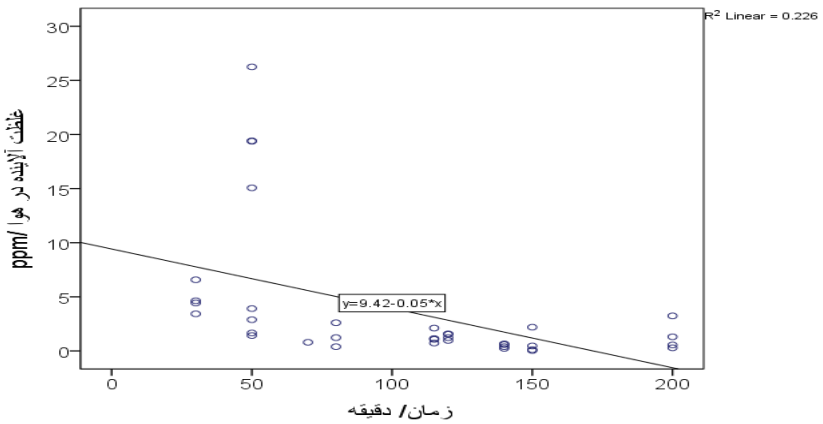


نمودار ۲: رابطه متوسط غلظت بخارات ایزوفلوران در منطقه تنفسی کارکنان با دمای هوای اتاق عمل (بر حسب درجه کلوین بین ۱۹ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد)

نمونه‌برداری نزدیک به تخت جراحی و ایستگاه‌های دور از آن اختلاف معناداری وجود ندارد (P=۱).

نتایج اندازه‌گیری بخارات ایزوفلوران در اتاق عمل براساس نوع بیهوشی بیمار که در جدول ۳ ارائه شده‌اند، نشان می‌دهند که بیشترین میانگین غلظت بخارات ایزوفلوران مربوط به بیهوشی با لوله تراشه به میزان ۴/۷۵±۸/۰۸ بخش در میلیون بوده و کمترین آن به بیهوشی توأم (ماسک و لوله تراشه) به میزان ۱/۳۲±۰/۲۸ بخش در میلیون اختصاص دارد. همچنین، مقادیر حداقل (۰/۰۴ بخش در میلیون) و حداکثر (۲۶/۲۵ بخش در میلیون) غلظت نیز مربوط به بیهوشی با لوله تراشه می‌باشند؛ اما مقایسه میانگین غلظت بخارات ایزوفلوران در اتاق عمل به تفکیک نوع بیهوشی توسط آزمون Mann-Whitney حاکی از آن بود که بین غلظت بخارات ایزوفلوران در سه حالت بیهوشی اختلاف معناداری وجود ندارد (P=۰/۱۴).

در پژوهش حاضر برای تعیین تأثیر عوامل محیطی بر میزان مواجهه کارکنان با بخارات ایزوفلوران از آزمون همبستگی Spearman استفاده شد. همان‌طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود، بین متوسط غلظت بخارات ایزوفلوران در منطقه تنفسی کارکنان اتاق عمل با دمای هوای اتاق در هنگام نمونه‌برداری رابطه معناداری وجود ندارد (P=۰/۳۶). علاوه‌براین، نتایج آزمون همبستگی Spearman در نمودار ۳ گویای آن است که رابطه معکوس و معناداری بین متوسط غلظت بخارات ایزوفلوران در منطقه تنفسی کارکنان با مدت زمان عمل جراحی در اتاق عمل وجود دارد (P=۰/۰۰۰۱). بدین‌معنا که با افزایش زمان عمل



نمودار ۳: رابطه متوسط غلظت بخارات ایزوفلوران در هوا با مدت زمان اندازه‌گیری بخارات ایزوفلوران در هر اتاق عمل

جدول ۴: مقایسه میانگین غلظت بخارات ایزوفلوران با حدود مجاز شغلی ملی و بین‌المللی بخارات ایزوفلوران

تعداد نمونه	انحراف معیار±میانگین	حدود مجاز شغلی (بخش در میلیون)	سازمان تدوین‌کننده	درجه آزادی	سطح معناداری	آماره آزمون
۳۶	۳/۷۳±۶/۱۷۱	۷۵	ACGIH	۳۵	۰/۰۰۰۱	-۶۹/۲۷
		۵۰	OEL ایران و بریتانیا		۰/۰۰۱	-۴۴/۹۷
		۲	Cal/OSHA		۰/۱	۱/۶۸
		۰/۵	NIOSH		۰/۰۰۳	۳/۱۴۵

جراحی، غلظت بخارات ایزوفلوران در هوای منطقه تنفسی کارکنان اتاق عمل کاهش می‌یابد.

مقایسه میانگین غلظت بخارات با حدود مجاز شغلی نشان می‌دهد که اختلاف معناداری بین میانگین غلظت‌های اندازه‌گیری‌شده با حدود مجاز شغلی ملی و بین‌المللی وجود دارد و تنها در حد مجاز شغلی ۲ بخش در میلیون (حد مجاز شغلی cal-OSHA (California Division of Occupational Safety and Health)) اختلاف معناداری با میانگین غلظت‌های بخارات اندازه‌گیری‌شده مشاهده نمی‌شود. بر مبنای نتایج، میانگین غلظت بخارات ایزوفلوران اندازه‌گیری‌شده در اتاق‌های عمل بیمارستان‌های شهر ساری از حدود مجاز شغلی ارائه‌شده توسط ACGIH، ایران و بریتانیا بیشتر نبود؛ اما از حد مجاز شغلی ارائه‌شده توسط NIOSH و cal-OSHA بالاتر بود. این نتایج در جدول ۴ نشان داده شده‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه میزان تماس افراد شاغل در اتاق‌های عمل با بخارات ماده بیهوشی ایزوفلوران با استفاده از روش OSHA 103 در سه بیمارستان شهر ساری بررسی شدند [۱۵]. نتایج حاصل نشان دادند که مواجهه شغلی کارکنان اتاق‌های عمل این بیمارستان‌ها (۳/۷۳ بخش در میلیون) از حدود مجاز مواجهه شغلی (OEL)

توصیه‌شده توسط مرکز سلامت محیط و کار ایران و نیز حد آستانه مجاز ارائه‌شده توسط ACGIH کمتر است؛ اما از حدود مجاز توصیه‌شده توسط OSHA (۲ بخش در میلیون) و NIOSH (۰/۵ بخش در میلیون با N_2O) بیشتر می‌باشد [۹،۱۶،۱۷]. با توجه به شرایط متفاوت اتاق‌های عمل در سه بیمارستان و تفاوت در نوع و طول زمان جراحی‌ها، افراد با غلظت‌های مختلفی از این بخار مواجهه داشتند؛ به‌طوری که بیشترین غلظت اندازه‌گیری‌شده بخارات ایزوفلوران حدود ۱۳ برابر حد مجاز توصیه‌شده توسط برخی از سازمان‌های بین‌المللی بود. علاه‌براین، در مقایسه بین دو تیپ بیمارستان خصوصی و دولتی شهر ساری، میانگین غلظت در اتاق‌های عمل بیمارستان‌های دولتی بیشتر از بیمارستان خصوصی بود که این امر می‌تواند به دلیل تعداد بیشتر عمل‌های جراحی در بیمارستان‌های دولتی باشد. همچنین، بسیاری از عمل‌های جراحی در بیمارستان‌های دولتی توسط رزیدنت‌ها انجام می‌شوند که به دلیل تجربه و مهارت کمتر، زمان بیشتری برای انجام جراحی صرف می‌گردد که این امر می‌تواند در افزایش غلظت مواد بیهوش‌کننده در اتاق عمل مؤثر باشد؛ اگرچه آزمون‌های آماری گویای آن بودند که این اختلافات رابطه معناداری ندارند.

مطالعات مشابهی برای ارزیابی غلظت بخارات ایزوفلوران و مواجهه کارکنان با بخار این ماده در ایران و جهان انجام شده است. Braz و همکاران در مطالعه‌ای که در بیمارستان کشور برزیل انجام دادند، به این مهم دست یافتند که متوسط غلظت باقی‌مانده بیهوش‌کننده‌های تنفسی از جمله ایزوفلوران در اتاق‌های عمل بدون سیستم پاک‌سازی بیشتر از حد پیشنهادی NIOSH (۲ بخش در میلیون) می‌باشد [۱۳]. همسو با مطالعه حاضر، Martins و همکاران در پژوهشی در برزیل عنوان نمودند که میانگین غلظت برای بیهوش‌کننده‌های تنفسی در اتاق‌های عمل، ۳/۵ برابر حد استاندارد NIOSH می‌باشد [۱۲]. نتایج مطالعه انجام‌شده توسط جعفری و همکاران در بیمارستانی در شهر ارومیه نیز نشان‌دهنده آن بودند که متوسط غلظت ایزوفلوران در هوای محیط اتاق عمل حدود دو برابر مقدار آن در هوای منطقه تنفسی کارکنان بوده و از حدود مجاز NIOSH (۰/۵ بخش در میلیون) بالاتر می‌باشد [۱۴]. در این راستا در پژوهش انجام‌شده توسط زارع و همکاران در بیمارستان شهید صدوقی یزد گزارش گردید که ۴۰/۶ درصد از نمونه‌ها غلظتی بیشتر از حد پیشنهادی توسط NIOSH داشتند. میزان متوسط غلظت بخار ایزوفلوران نیز در حد متوسط غلظت اندازه‌گیری‌شده در مطالعه حاضر بود [۱۱]. در مقابل، مطالعات ملی و بین‌المللی مشابه دیگر عنوان نموده‌اند که غلظت بخارات ایزوفلوران در هوای اتاق‌های عمل و یا در منطقه تنفسی کارکنان از حدود مجاز توصیه‌شده توسط OSHA و NIOSH کمتر می‌باشد. در این ارتباط، در مطالعه انجام‌شده توسط AL-Ghanem در دانشگاه جردن نشان داده شد که میزان متوسط غلظت بخارات ایزوفلوران کمتر از میزان اندازه‌گیری‌شده در مطالعه حاضر می‌باشد [۱۰]. پژوهش انجام‌شده توسط Hobbhah و همکاران در اتریش نیز وجود بقایای بخارات ایزوفلوران در اتاق عمل را تأیید نمود؛ اما حداکثر مقدار اندازه‌گیری‌شده در این مطالعه حدوداً نصف مقدار متوسط غلظت بخارات ایزوفلوران در مطالعه حاضر می‌باشد [۱۸].

دلایل متفاوتی را می‌توان برای اختلاف در نتایج این مطالعه با مطالعات مطرح‌شده بیان کرد؛ از جمله فعال‌بودن سیستم تهویه اتاق عمل و دفعات تعویض هوا در ساعت، متفاوت‌بودن روش نمونه‌برداری، تفاوت در میزان استفاده از داروی بیهوشی، کارایی سیستم پاک‌سازی دستگاه بیهوشی و غیره. نکته حائز اهمیت دیگر آن است که بسیاری از اختلافات موجود در مطالعات ممکن است ناشی از تفاوت در روش اندازه‌گیری باشد. در مطالعات انجام‌شده توسط Hoerauf در آلمان، Hobbhah در اتریش و Martins و Braz در برزیل از روش قرائت مستقیم برای اندازه‌گیری استفاده شده است که در این روش از سیستم اسپکترومتری مادون قرمز فوتوآکوستیک استفاده می‌گردد که روشی راحت و مقرون به صرفه‌تر بوده و در عین حال از صحت بالایی برخوردار می‌باشد؛

اما در پژوهش حاضر و مطالعات انجام‌شده توسط Al-Ghanem در دانشگاه جردن، زارع سخویدی در بیمارستان شهید صدوقی یزد و جعفری در بیمارستانی در ارومیه از روش نمونه‌برداری توسط لوله‌های ذغال فعال و آنالیز به وسیله گاز کروماتوگراف استفاده شده است که روشی وقت‌گیر و گران‌تر می‌باشد؛ اما دقت بیشتری نسبت به روش مستقیم دارد [۱۰]. در این روش به دلیل نمونه‌برداری طولانی مدت از ابتدا تا انتهای جراحی، تمام غلظت‌های موجود در بر گرفته شده و روش نمونه‌برداری و آنالیز براساس یک روش استاندارد مورد تأیید OSHA انجام شده است [۱۵].

از سوی دیگر نتایج مطالعه حاضر نشان دادند که با افزایش مدت زمان جراحی، غلظت بخارات ایزوفلوران به‌طور معناداری در اتاق عمل کاهش می‌یابد. نکته مورد توجه این است که در جراحی‌های با زمان کمتر در این مطالعه، میانگین دوز داروی بیهوشی MAC (Minimum Alveolar Capacity) به‌کاررفته معمولاً بیشتر از MAC در جراحی‌های طولانی بوده است و در جراحی‌های طولانی معمولاً پس از گذشت حدود ۲ تا ۳ ساعت از جراحی، MAC ایزوفلوران کاهش یافته و از داروهای مکمل برای نگهداشت بیهوشی استفاده می‌شود. مسأله مهم دیگر این است که پخش‌شدن داروی ایزوفلوران در اتاق عمل از شروع بیهوشی در طول زمان با تهویه اتاق که به‌صورت ضعیف از طریق سیستم تهویه اتاق عمل و باز و بسته‌شدن مکرر در اتاق عمل انجام می‌شود، باعث کاهش غلظت آن در طول زمان می‌گردد. علاوه‌براین، در اتاق‌های عملی که جراحی‌هایی با زمان کمتر در آن‌ها انجام می‌شود، تعداد جراحی‌ها در طول شیفت کاری افزایش می‌یابد؛ بنابراین احتمال افزایش غلظت بخارات ایزوفلوران در این اتاق‌ها بیشتر خواهد بود. در تضاد با نتایج این مطالعه، Braz و همکاران و جعفری و همکاران به این نتیجه دست یافتند که غلظت بخارات ایزوفلوران در منطقه تنفسی افراد شاغل با افزایش زمان عمل جراحی، افزایش می‌یابد [۱۳،۱۴]. نکته مورد توجه دیگر در مطالعه حاضر این است که تعداد جراحی‌های انجام‌شده در یک شیفت کاری در اتاق‌های عملی که در آن‌ها جراحی‌های طولانی‌تر انجام می‌شود، کمتر است (مانند اتاق عمل مغز و اعصاب)؛ بنابراین احتمالاً انتشار بخارات و در نتیجه، غلظت بیهوش‌کننده‌های منتشرشده در آن‌ها کمتر خواهد بود [۲۰-۱۸،۱۳،۱۲]. در راستای یافته‌های پژوهش حاضر، نتایج مطالعه زارع و همکاران نشان دادند که حتی در جراحی‌های یکسان، میزان غلظت اندازه‌گیری‌شده می‌تواند کاملاً با یکدیگر متفاوت باشد و فاکتورهایی از قبیل میزان MAC داروی بیهوشی، نوع بیهوشی، نحوه قرارگیری ماسک بیهوشی و حتی میزان و تعداد دم و بازدم بیمار می‌تواند مسئول این دامنه تغییرات باشد [۱۱].

در ارتباط با اینکه انتظار می‌رود غلظت بخارات ایزوفلوران در موقعیت نزدیک به تخت بیهوشی اختلاف زیادی با موقعیت دور از آن داشته باشد، نتایج مطالعه حاضر نشان دادند که میانگین غلظت بخارات ایزوفلوران در دو موقعیت نزدیک به تخت جراحی و دور از آن تفاوت آماری معناداری ندارد و غلظت بخارات ایزوفلوران در موقعیت نزدیک به تخت بیهوشی با اختلاف بسیار کم، بیشتر از موقعیت دور از تخت جراحی می‌باشد. در مطالعه زارع سخویدی و همکاران نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد [۱۱]. همچنین در مطالعه انجام‌شده توسط جعفری و همکاران در بیمارستان ارومیه نشان داده شد که بین ایستگاه کاری افراد شاغل در اتاق عمل و غلظت بخارات ایزوفلوران در منطقه تنفسی ارتباط آماری معناداری وجود ندارد [۱۴]. در پژوهش انجام‌شده توسط Braz و همکاران در بیمارستان آموزشی در برزیل، مقدار غلظت اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های کاری مختلف، متفاوت بود و بیشترین آن به ایستگاه نزدیک به دستگاه بیهوشی اختصاص داشت [۱۳]. در مطالعه حاضر نیز تعدای از ایستگاه‌های کاری کارکنان در موقعیت دور از تخت جراحی، نزدیک به دستگاه بیهوشی قرار داشتند که این امر احتمال افزایش غلظت بخارات در این مناطق را افزایش می‌دهد.

از سوی دیگر، در مطالعه حاضر بین میانگین غلظت در جراحی‌هایی که بیهوشی با ماسک داشتند با میانگین غلظت در جراحی‌هایی که در آن‌ها بیهوشی از طریق لوله تراشه انجام شده

بود، اختلاف معناداری وجود نداشت که این امر می‌تواند به دلیل تعداد کم بیهوشی با ماسک باشد. در بیهوشی با لوله تراشه، احتمال نشت داروی بیهوشی از دهان بیمار بسیار کم بوده و عملاً صفر می‌باشد؛ اما در بیهوشی با ماسک، معمولاً احتمال نشت داروی بیهوشی از طریق هوای بازدم از کناره‌های ماسک وجود دارد. در مطالعه انجام‌شده توسط Hoerauf و همکاران در بیمارستانی در آلمان چنین نتیجه‌گیری شد که در مقایسه دو حالت بیهوشی از طریق لوله تراشه و ماسک، غلظت نشت‌یافته از طریق ماسک به‌طور معناداری بیشتر از لوله تراشه می‌باشد [۲۱].

در این مطالعه بین متوسط غلظت بخارات ایزوفلوران در هوا و دمای هوای اتاق عمل اختلاف آماری معناداری مشاهده نشد که این امر می‌تواند به دلیل اختلاف دمایی کم بین اتاق‌ها و نیز تعداد کم داده‌های دمایی برای نه اتاق عمل مورد بررسی باشد.

همان‌طور که در این مطالعه و پژوهش‌های دیگر گزارش شده است، سطح گازهای بیهوشی زائد در هوای محیط حتی در اتاق‌های عمل مدرن می‌تواند از برخی از حدود مجاز فراتر رود. این امر بدین‌معنا است که کارکنان اتاق عمل به‌طور مداوم در تماس با بقایای غلظت گازهای بیهوشی می‌باشند و به دلیل تماس مزمن با مقادیر کم و مداوم با این بیهوش‌کننده‌ها و اثرات ناخوشایند آن‌ها بر سلامتی، این موضوع یک مسأله نگران‌کننده در جوامع علمی می‌باشد.

اقداماتی همچون وجود سیستم پاک‌سازی (Scaveaging System)، سیستم تهویه کارا، بررسی دوره‌ای عملکرد سیستم تهویه، استفاده از دستگاه‌های بیهوشی مدرن با احتمال نشتی کمتر، کنترل مداوم غلظت باقی‌مانده بخارات بیهوشی و آموزش کارکنان می‌تواند تا حد زیادی تماس با این بیهوش‌کننده‌ها را به حداقل برساند.

قدردانی

مطالعه حاضر برگرفته از پایان‌نامه‌ای با عنوان "بررسی مواجهه شغلی کارکنان با بخار ایزوفلوران در اتاق عمل بیمارستان" می‌باشد که با کد ۲۹۷۳ در شورای پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی- درمانی مازندران تصویب شده و با حمایت مالی این دانشگاه به انجام رسیده است. بدین‌وسیله از همکاری معاونت پژوهشی این دانشگاه، ریاست و کارکنان اتاق عمل بیمارستان‌های امام خمینی، بوعلی و شفای ساری تشکر و قدردانی می‌گردد.

کد کمیته اخلاق: IR.MAZUMS.REC.96-3036

References

1. Hajighasemkhan a. General sampling and decomposition of air pollutants in the work environment. 1st ed. Tehran: Baraye Farda; 2010 (Persian).
2. Checkai MJ. Risk assessment for occupational exposure to isoflurane in pharmaceutical research and venterinary facilities in San Diego, California. Graduate School of Public Health. San Diego, CA: San Diego State University; 2014.
3. Reichle FM, Conzen PF. Halogenated inhalational anaesthetics. Best Pract Res Clin Anaesthesiol 2003; 17(1):29-46.
4. Use of anesthetic gas isoflurane within a BSC. NuAire. Available at: URL: http://www.nuaire.com/protected/bulletins-general//biological-safetycabinets.pdf; 2006.
5. Stoling RD, Miller R. Basics of anesthesia. 5th ed. London: Churchill Livingstone; 2007.
6. National Institute for Occupational Safety and Health. Control of nitrous oxide in dental operatories. Washington, D.C: Department of Health and Human Services; 1994.
7. Wrońska-Nofer T, Nofer JR, Jajte J, Dziubałtowska E, Szymczak W, Krajewski W, et al. Oxidative DNA damage and oxidative stress in subjects occupationally exposed to nitrous oxide (N2O).

Mutat Res Fundam Mol Mechan Mutag 2012; 731(1):58-63.
8. Occupational Health and Safety Administration. Waste anesthetic gases. United States Department of Labor. New York: United States Department of Labor; 2000.
9. Health and Environment Center. Occupational exposure limits. 4th ed. Hamedan: Daneshjo; 2015 (Persian).
10. Al-Ghanem S, Battah AH, Salhab AS. Monitoring of volatile anesthetics in operating room personnel using GC-MS. J Med J 2008; 42:13-9.
11. Zare Sakhvidi M, Barkhordari A, Salehi M, Behdad S, Fallahzade M. The assessment of occupational exposure of operation room personnel to isoflurane anesthetic gas. Occup Med Quart J 2012; 4(3):1-9.
12. Chaoul MM, Braz JR, Lucio LM, Golim MA, Braz LG, Braz MG. Does occupational exposure to anesthetic gases lead to increase of pro-inflammatory cytokines? Inflamm Res 2015; 64(12):939-42.
13. Braz LG, Braz JR, Cavalcante GA, Souza KM, Lucio LM, Braz MG. Comparison of waste anesthetic gases in operating rooms with or without an scavenging system in a Brazilian University Hospital. Braz J Anesthesiol 2017; 67(5):516-20.
14. Jafari A, Bargeshadi R, Jafari F, Mohebbi I, Hajaghazadeh M. Environmental and biological measurements of isoflurane and sevoflurane in operating room personnel. Int Arch Occup Environ Health 2018; 91(3):349-59.
15. Occupational Health and Safety Administration. Related information: chemical sampling - enflurane, halothane, isoflurane. Available at: URL: https://www.osha.gov/dts/sltc/method/organic/org103/org103.html; 2010.
16. Occupational Health and Safety Administration. Regulations (Standards- 29 CFR 1910.1000.Z.) toxic and hazardous substances. Available at: URL: https://www.osha.gov/SLTC/hazardoustoxicsubstances; 2006.
17. National Institute for Occupational Safety and Health. Criteria for a recommended standard: occupational exposure to waste anesthetic gases and vapors. Available at: URL: http://www.cdc.gov/niosh/docs/1970/77-140.html; 1977.
18. Hobhahn J, Hoerauf K, Wiesner G, Schrögendorfer K, Taeger K. Waste gas exposure during desflurane and isoflurane anaesthesia. Acta Anaesthesiol Scand 1998; 42(7):864-7.
19. Hoerauf K, Hosemann W, Wild K, Hobbhahn J. Exposure of operating room personnel to anesthetic gases during ENT interventions. HNO 1996; 44(10):567-71.
20. Hoerauf K, Lierz M, Wiesner G, Schroegendorfer K, Lierz P, Spacek A, et al. Genetic damage in operating room personnel exposed to isoflurane and nitrous oxide. Occup Environ Med 1999; 56(7):433-7.
21. Hoerauf K, Harth M, Wild K, Hobbhahn J. Occupational exposure to desflurane and isoflurane during cardiopulmonary bypass: is the gas outlet of the membrane oxygenator an operating theatre pollution hazard? Br J Anaesth 1997; 78(4):378-80.