



Effect of Extremely Low Frequency Magnetic Field on the Quantity and Structure of Hemoglobin of Employees in Electricity Industry

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Alizadeh S.¹ MSc,
Zendeheel R.¹ PhD,
Asadi S.² PhD,
Ranjbarian M.¹ MSc,
Mahmoodi Meymand M.³ MSc,
Motevalian M.⁴ PhD,
Hosseini A.^{*5} PhD

How to cite this article

Alizadeh S, Zendeheel R, Asadi S, Ranjbarian M, Mahmoodi Meymand M, Motevalian M, Hosseini A. Effect of Extremely Low Frequency Magnetic Field on the Quantity and Structure of Hemoglobin of Employees in Electricity Industry. Pathobiology Research. 2019;22(1):1-5.

¹Occupational Health Engineering Department, Health Faculty, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

²Neuroscience Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³Biology Department, Food Industry & Agriculture Institute, Standard Research Institute (SRI), Karaj, Iran

⁴"Razi Drug Research Center" and "Pharmacology Department, Medicine Faculty", Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁵Razi Drug Research Center, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

*Correspondence

Address: Iran University of Medical Sciences, Next to Milad Tower, Hemat Highway, Tehran, Iran. Postal Code: 1449614535
Phone: +98 (21) 88622571
Fax: +98 (21) 88622523
hoseini.as@iums.ac.ir

Article History

Received: February 18, 2018
Accepted: May 10, 2018
ePublished: March 11, 2019

ABSTRACT

Aims Nowadays, people are exposed at large quantities of magnetic field due to industrialization of the environment; therefore, studying the effect of these fields on human health is very important. The aim of this study was to investigate the effect of extremely low frequency (ELF) magnetic field on the quantity and structure of hemoglobin of employees in electricity industry.

Materials & Methods The present experimental study was carried out in the employees of a power generation plant in Tehran in 2017. Using total population sampling method, 29 employees of exploitation department were selected as exposed group and 29 employees of administrative and support department were selected as unexposed group. The magnetic field intensity of the power generation plant was studied by NIOSH 203 method. Blood samples were collected from two groups of people; hemoglobin concentration in blood samples were evaluated by spectrophotometer and changes in hemoglobin structure were analyzed by Fourier-transform infrared spectroscopy. The data were analyzed by SPSS 16, using the Mann-Whitney U test.

Findings The mean of hemoglobin concentration in the exposed group (15.67 ± 1.42) was significantly different from that of the unexposed group (17.31 ± 3.03), so that the hemoglobin level of the exploitation department staff was lower than that of the administrative and support staff ($p < 0.0001$). Fourier-transform infrared spectroscopy showed significant changes in the 1413 and 11430 cm^{-1} between the exposed and unexposed groups.

Conclusion Contact with extremely low frequency of magnetic field causes changes in hemoglobin quantity and its molecular structure in employees in electricity industry.

Keywords Magnetic Field; Hemoglobin; Molecular Structure of Hemoglobin

CITATION LINKS

[1] Evaluation of extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields and their ... [2] Interaction of extremely low frequency electric and magnetic ... [3] Effects of static and time-varying (50-Hz) magnetic fields on ... [4] Strong static magnetic field and the induction of mutations through elevated production ... [5] Are occupational, hobby, or lifestyle exposures associated with Philadelphia ... [6] Possible effects of electromagnetic fields (EMF) on human health--opinion ... [7] Electromagnetic fields and DNA ... [8] Electrical wiring configurations and ... [9] Unfolding-induced in haemoglobin by exposure to electromagnetic ... [10] FTIR spectroscopy studies on the bioprotective effectiveness ... [11] Analytical applications of the optical properties of ferric hemoglobin: A theoretical ... [12] Methods for hemoglobin estimation: A review of ... [13] Patterns prediction of chemotherapy sensitivity in cancer cell lines using FTIR spectrum ... [14] New insights into bioprotective effectiveness of disaccharides: An FTIR study of human haemoglobin aqueous ... [15] Infrared spectrophotometry and its application ... [16] Protein structure by Fourier transform infrared spectroscopy ... [17] Population interactions in ecology: A rule-based approach to modeling ecosystems ... [18] Effect of cellular phone field on body weight, liver enzymes blood indices and role ... [19] Effect of electromagnetic field on red blood cells of adult ... [20] ICNIRP guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic ... [21] Infrared spectroscopy of exfoliated human cervical cells: Evidence of extensive structural changes ... [22] Microwave absorption of single-walled carbon nanotubes/soluble cross-linked ...

تأثیر میدان مغناطیسی با فرکانس بسیار پایین روی کمیت و ساختار هموگلوبین شاغلان در صنعت برق

سمیه علیزاده MSc

گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

رضوان زنده دل PhD

گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

ساره اسدی PhD

مرکز تحقیقات علوم اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

محمدرنجبریان MSc

گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

معصومه محمودی میمند MSc

گروه پژوهشی بیولوژی، پژوهشکده صنایع غذایی و کشاورزی، پژوهشگاه استاندارد، تهران، ایران

منیژه متولیان PhD

"مرکز تحقیقات علوم دارویی رازی" و "گروه فارماکولوژی، دانشکده پزشکی"، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

آسیه حسینی * PhD

مرکز تحقیقات علوم دارویی رازی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

چکیده

اهداف: امروزه انسان‌ها به‌واسطه صنعتی شدن محیط زندگی با مقادیر زیاد میدان مغناطیسی تماس دارند، لذا مطالعه اثر این میدان‌ها بر سلامت انسان امروزی از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر میدان مغناطیسی با فرکانس بسیار پایین روی کمیت و ساختار هموگلوبین شاغلان صنعت برق بود.

مواد و روش‌ها: مطالعه تجربی حاضر در جامعه کارکنان یک نیروگاه تولید برق در تهران در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. با روش نمونه‌گیری تمام‌شماری، ۲۹ نفر از کارکنان محل بهره‌برداری نیروگاه به‌عنوان گروه مواجهه‌یافته و ۲۹ نفر از کارکنان اداری و پشتیبانی به‌عنوان گروه مواجهه‌نیافته انتخاب شدند. شدت میدان مغناطیسی محل حضور کارکنان نیروگاه تولید برق با روش NIOSH 203 مطالعه شد. نمونه‌های خون افراد مورد مطالعه جمع‌آوری و غلظت هموگلوبین نمونه‌ها با روش اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و تغییر در ساختار هموگلوبین توسط دستگاه مادون قرمز با تبدیل فوریه (FTIR) مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 16 از طریق آزمون من‌ویتنی-یو صورت گرفت.

یافته‌ها: میانگین مقدار هموگلوبین افراد مواجهه‌یافته (۱۵/۶۷±۱/۴۲) گرم بر دسی‌لیتر) در مقایسه با گروه مواجهه‌نیافته (۱۷/۳۱±۳/۰۳) گرم بر دسی‌لیتر تفاوت معنی‌داری داشت، به طوری که مقدار هموگلوبین کارکنان بهره‌بردار کمتر از کارکنان پشتیبانی بود ($P < 0.0001$). بررسی طیف مادون قرمز با تبدیل فوریه، تغییرات معنی‌داری را در نواحی ۱۴۱۳ و 1430 cm^{-1} بین گروه مواجهه‌یافته و مواجهه‌نیافته نشان داد.

نتیجه‌گیری: تماس با میدان مغناطیسی در فرکانس‌های بسیار پایین سبب تغییر در کمیت هموگلوبین و ساختار مولکولی آن در شاغلان در صنعت برق می‌شود.

کلیدواژه‌ها: میدان مغناطیسی، هموگلوبین، ساختار مولکولی هموگلوبین

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۲۰

* نویسنده مسئول: hoseini.as@iums.ac.ir

مقدمه

از سال ۱۹۵۰ مقادیر زیادی از انرژی مغناطیسی در محیط زندگی انسان‌ها ایجاد شده و در رابطه با محیط زیست و جوامع بشری مشکلاتی ایجاد کرده است [1]. امروزه میدان مغناطیسی با فرکانس‌های مختلف به‌عنوان یک فاکتور مهم در محیط زیست مطرح است. این میدان‌ها به‌دلیل تأثیر بر سیستم عصبی،

دگرگونی‌های ژنتیکی و رشد سرطان مورد توجه محققان هستند [2]. امواج مغناطیسی از تمامی موانع فیزیکی عبور می‌کنند و با ایجاد رادیکال‌های آزاد، تغییر در ساختار آنزیم‌ها و تأثیر بر مولکول‌های DNA و RNA زمینه‌ساز آسیب در بدن انسان‌ها می‌شوند [3, 4]. مطالعات متعددی اثرات مواجهه با میدان‌های مغناطیسی همچون اختلال‌های ذهنی، مشکلات قلبی و عروقی، گوارشی و سیستم اعصاب مرکزی را گزارش کرده‌اند [5]. در سال ۲۰۰۱ در اروپا انجمن متخصصان ارزیابی ریسک‌های جدید، میدان‌های مغناطیسی را در چهار فرکانس (F) مختلف به شکل زیر تقسیم‌بندی نموده‌اند:

۱- فرکانس رادیویی (RF): $300 \text{ گیگاهرتز} \leq F < 1000 \text{ کیلوهرتز}$

۲- فرکانس میانی (IF): $100 \text{ کیلوهرتز} \leq F < 300 \text{ هرتز}$

۳- فرکانس بسیار پایین (ELF): $300 \text{ هرتز} \leq F < \text{صفرهرتز}$

۴- فرکانس استاتیک: صفرهرتز [6].

امروزه بررسی اثرات میدان مغناطیسی در فرکانس‌های پایین (۶۰-۵۰ هرتز) که حاصل خطوط انتقال برق نیز است، بسیار مورد توجه قرار گرفته است [7]. میدان مغناطیسی در فرکانس‌های پایین در اطراف کابل‌های هدایت برق، نیروگاه‌های مولد برق، ایستگاه‌های تبدیل و کانون‌های مصرف برق فشار قوی تولید می‌شود. هر وسیله‌ای که با جریان برق کار کند، یک منبع تولید میدان مغناطیسی است، به طوری که هر چه به منبع نزدیک‌تر شویم، شدت میدان، قوی‌تر می‌شود [8]. مولکول‌های هموگلوبین به‌عنوان یکی از جایگاه‌های هدف میدان‌های مغناطیسی مطرح هستند. کم‌خونی و کاهش میزان هموگلوبین در خون از مهم‌ترین عوارض میدان مغناطیسی با فرکانس‌های پایین است. همچنین مطالعات کشت سلولی نشان داده است که میدان مغناطیسی با فرکانس‌های پایین و با شدت‌های مختلف سبب تغییر در ساختار مولکول هموگلوبین می‌شود [9, 10]. هموگلوبین، پروتئینی است که در گلبول‌های قرمز خون وجود دارد و نقش آن انتقال اکسیژن و دی‌اکسیدکربن در خون است. هموگلوبین از دو زیرواحد مختلف به نام‌های آلفا و بتا تشکیل شده است. بین زنجیره‌های آلفا و بتا، پیوندهای قوی وجود دارد که این پیوندها بین دو زنجیره آلفا با یکدیگر و دو زنجیره بتا با یکدیگر است [11].

اگر چه تأثیر میدان مغناطیسی (ELF) در ساختار مولکولی هموگلوبین در خارج از بدن انسان‌ها و با تأثیر روی سلول‌ها به شکل کشت سلولی ارزیابی شده، ولی تأثیر این میدان‌ها در هموگلوبین انسان‌های کمترمواجهه‌یافته گزارش شده و مطالعه همزمان تغییرات کمی هموگلوبین و تأثیر بر ساختار مولکولی هموگلوبین بررسی نشده است. بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر میدان مغناطیسی با فرکانس بسیار پایین روی کمیت و ساختار هموگلوبین شاغلان در صنعت برق بود.

مواد و روش‌ها

مطالعه تجربی حاضر در جامعه کارکنان یک نیروگاه تولید برق در تهران در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. با روش نمونه‌گیری تمام‌شماری، ۲۹ نفر از کارکنان محل بهره‌برداری نیروگاه به‌عنوان گروه مواجهه‌یافته و ۲۹ نفر از کارکنان اداری و پشتیبانی به‌عنوان گروه مواجهه‌نیافته انتخاب شدند. کارکنان بهره‌بردار، کنترل و بررسی ایستگاه‌های توزیع نیرو را به عهده دارند، بنابراین افراد در زمان فعالیت خود زیر دکل‌های برق با فشار بالا حضور دارند. دو گروه از لحاظ سن، جنس و سابقه شغلی همسان‌سازی شدند.

شدت میدان مغناطیسی در محوطه حضور کارکنان بهره‌بردار با دستگاه گاوس‌متر مدل TES 1393 (TES؛ تایوان) اندازه‌گیری

افراد مورد مطالعه و برای حذف خطای طیف‌گیری از نسبت طیف FTIR در اعداد موجی مد نظر، نسبت به عدد موجی 1720cm^{-1} استفاده شد (جدول ۱) [15, 16].

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 16 از طریق آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها و آزمون من‌ویتنی-یو برای بررسی تفاوت میانگین میزان هموگلوبین دو گروه صورت گرفت.

جدول ۱) اعداد موجی FTIR نمایانگر ساختار هموگلوبین

ساختار مولکولی	عدد موجی cm^{-1}
COO گروه اسیدگلوتامیک	۱۴۱۳
باندهای CH_2 و CH_3	۱۴۳۰
تغییر شکل NH_3^+ اسیدآمینو لیزین	۱۴۸۲
مربوط به آمید I گروه زنجیره آروماتیک	۱۵۹۰
اسیدآسپارتیک کششی $\text{C}=\text{O}$	۱۷۲۰

یافته‌ها

میدان مغناطیسی در ۱۲۰ ایستگاه از محیط اداری، ارزیابی و میانگین شدت میدان مغناطیسی $7/9 \pm 9/87$ میلی‌گاوس تعیین شد. میانگین میزان میدان مغناطیسی در ۶۰ ایستگاه از محل حضور کارکنان بهره‌بردار برابر $10/3 \pm 9/09$ میلی‌گاوس بود. افراد مورد مطالعه با شدت میدان مغناطیسی از ۲ تا $67/5$ میلی‌گاوس در تماس بودند.

میانگین سنی ($36/03 \pm 4/41$ سال) و سابقه کار ($9/86 \pm 2/9$ سال) گروه مواجهه‌یافته (کارکنان مرد بهره‌بردار) با میانگین سنی ($36/5 \pm 5/75$ سال) و سابقه کار ($9/96 \pm 3/5$ سال) کارکنان پشتیبانی همسان بود و تفاوت معنی‌داری نداشتند ($p > 0/05$).

میانگین مقدار هموگلوبین افراد مواجهه‌یافته ($15/67 \pm 1/42$ گرم بر دسی‌لیتر) در مقایسه با گروه مواجهه‌نیافته ($17/31 \pm 3/03$ گرم بر دسی‌لیتر) تفاوت معنی‌داری داشت، به طوری که مقدار هموگلوبین کارکنان بهره‌بردار کمتر از کارکنان پشتیبانی بود ($p < 0/0001$). در افراد مواجهه‌یافته کمترین مقدار هموگلوبین 14 گرم بر دسی‌لیتر و بیشترین مقدار، 18 گرم بر دسی‌لیتر بود.

بررسی طیف مادون قرمز با تبدیل فوری، تغییرات معنی‌داری را در نواحی 1413 و 1430cm^{-1} بین گروه مواجهه‌یافته و مواجهه‌نیافته نشان داد. میانگین سطح زیر پیک در ناحیه $1430/1720$ در افراد مواجهه‌یافته، $0/09 \pm 0/04$ و در افراد مواجهه‌نیافته $0/07 \pm 0/03$ بود که افزایش معنی‌داری در افراد مواجهه‌یافته نسبت به کارکنان مواجهه‌نیافته مشاهده شد ($p = 0/009$). همچنین سطح زیر پیک در ناحیه $1413/1720$ در افراد مواجهه‌یافته $0/06 \pm 0/06$ و در افراد مواجهه‌نیافته $0/07 \pm 0/01$ بود که در افراد مواجهه‌یافته نسبت به کارکنان عدم مواجهه کاهش معنی‌داری را نشان داد ($p < 0/0001$).

بحث

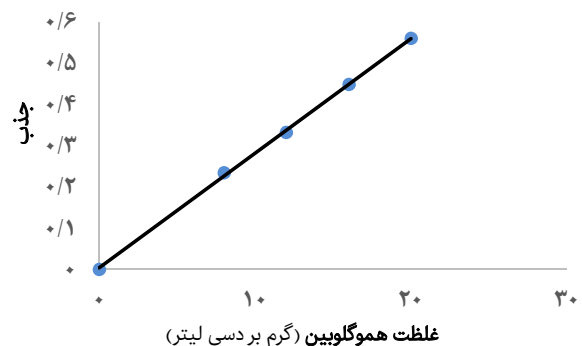
پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر میدان مغناطیسی با فرکانس بسیار پایین روی کمیت و ساختار هموگلوبین شاغلان در صنعت برق انجام شد. بررسی‌های اپیدمیولوژیک نشان داده است که تماس با میدان‌های مغناطیسی در محیط کار و زندگی، سلامت انسان را به خطر می‌اندازد و ریسک ابتلا به سرطان و بیماری‌های ایمونولوژیک را افزایش می‌دهد [8, 17]. اثرات هماتولوژیک در مواجهه مزمن با میدان مغناطیسی روی سیستم هماتولوژیک در مطالعات حیوانی متعددی گزارش شده است [18, 19].

در این مطالعه میزان شدت میدان مغناطیسی در محل کارکنان

شد. میدان مغناطیسی در یک محوطه با ابعاد 50×50 متر و در یک ایستگاه توزیع برق 230 کیلووات بررسی شد. پس از بازدید از محل مورد نظر نقشه‌ای تهیه شد. سپس براساس پیشنهاد روش موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی (NIOSH 203)، محل حضور کارکنان بهره‌بردار به‌عنوان ایستگاه کاری در نظر گرفته شد و این فضا به ایستگاه‌های $1/5 \times 1/5$ متری تقسیم‌بندی و میدان مغناطیسی در هر ایستگاه با سه‌بار تکرار تعیین شد. پس از جلب رضایت از کارکنان و تکمیل فرم پرسش‌نامه حاوی اطلاعات فردی، 2 میلی‌لیتر خون از آنها دریافت و به لوله‌های حاوی ماده ضدانعقاد منتقل و پس از کدگذاری به آزمایشگاه ارسال شد.

تعیین کمیت هموگلوبین خون با دستگاه اسپکتروفتومتر: برای تعیین غلظت هموگلوبین از روش رنگ‌سنجی سیانومت هموگلوبین (هموگلوبین‌سیانید؛ HICN) و محلول درابکین استفاده شد [12]. در این روش، محصول رنگی سیانومت هموگلوبین در دو مرحله تشکیل شد. بدین صورت که در مرحله اول به‌دنبال لیز اریتروسیت‌ها، هموگلوبین، آزاد و توسط فری‌سیانیدپتاسیم، اکسید و به مت‌هموگلوبین (HI) تبدیل شد و در مرحله دوم سیانیدپتاسیم موجود در معرف درابکین با مت‌هموگلوبین واکنش داد و HICN تولید شد. HICN تشکیل‌شده دارای جذب نوری حداکثری در طول موج 540 نانومتر بود. منحنی کالیبراسیون با استفاده از غلظت‌های مختلف استاندارد موجود کیت درابکین (بهارافشان؛ ایران) ترسیم شد (نمودار ۱).

20 میکرولیتر از نمونه‌های خون افراد مورد مطالعه با 5 میلی‌لیتر محلول درابکین مخلوط و در دمای اتاق به مدت 3 دقیقه انکوبه شدند. سپس غلظت هموگلوبین نمونه‌ها در طول موج 540 نانومتر با کمک منحنی استاندارد مشخص شد.



نمودار ۱) منحنی کالیبراسیون برای تعیین کمیت هموگلوبین با معرف درابکین

بررسی تغییر ساختاری در هموگلوبین نمونه‌ها با دستگاه مادون قرمز با تبدیل فوری: یک میلی‌لیتر نمونه خون داخل فالکون ریخته و در 1500 دور در دقیقه به مدت 5 دقیقه سانتریفیوژ شد. نمونه‌ها با نرمال‌سالیین 1% با 5 مرتبه تکرار شست‌وشو داده شدند و به مدت 24 ساعت در فریزر قرار گرفتند. نمونه منجمدشده، ذوب و با آب مقطر به حجم 5 میلی‌لیتر رسانده شد و مقدار هموگلوبین با دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد [10]. به‌ازای هر 400 میلی‌گرم بر دسی‌لیتر از نمونه هموگلوبین، یک میکرولیتر از نمونه روی سل از جنس کلسیم‌فلوئورید و به مدت 5 دقیقه تحت شرایط خلأ قرار داده شد [13]. سپس سل تهیه‌شده، داخل دستگاه مادون قرمز با تبدیل فوری (FTIR) قرار گرفت و طیف نمونه‌ها در ناحیه 1400 تا cm^{-1} 1800 ارزیابی شد [14]. در این بررسی با وجود این که مقادیر مشخصی از هموگلوبین طیف تهیه شد، برای مقایسه طیف برای

تغییر در کمیت هموگلوبین و ساختار مولکولی آن می‌شود. بنابراین با توجه به این که حدود مجاز تماس با میدان مغناطیسی در ایران تقسیم‌بندی خاصی برای فرکانس‌های مختلف ندارد و با در نظر گرفتن آسیب‌های ایجاد شده، به نظر می‌رسد پیشنهاد حد مجاز تماس با میدان مغناطیسی در فرکانس‌های پایین ضروری باشد. در این راستا با بررسی آثار میدان مغناطیسی روی کارگران مواجهه‌یافته در مشاغل و در جامعه آماری بزرگ‌تر امکان تعیین حدود مجاز شغلی فراهم می‌شود.

نتیجه‌گیری

تماس با میدان مغناطیسی در فرکانس‌های بسیار پایین سبب تغییر در کمیت هموگلوبین و ساختار مولکولی آن در شاغلان در صنعت برق می‌شود.

تشکر و قدردانی: بدین وسیله از شاغلان نیروگاه برق برای شرکت در این پژوهش کمال تشکر به عمل می‌آید. همچنین از زحمات کارشناسان آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی تشکر می‌شود.

تاییدیه اخلاقی: این پژوهش با کد اخلاقی: ۹۳۹۵/۷۸ ثبت شده است.

تعارض منافع: موردی وجود نداشته است.

سهم نویسندگان: سمیه علیزاده (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی (۱۵٪)؛ رضوان زنده‌دل (نویسنده دوم)، نگارنده بحث (۱۵٪)؛ ساره اسدی (نویسنده سوم)، نگارنده مقدمه (۱۵٪)؛ محمد رنجبریان (نویسنده چهارم)، پژوهشگر کمکی (۱۵٪)؛ معصومه محمودی‌میمند (نویسنده پنجم)، پژوهشگر کمکی (۱۵٪)؛ منیژه متولیان (نویسنده ششم)، تحلیلگر آماری (۱۵٪)؛ آسیه حسینی (نویسنده هفتم)، روش‌شناس (۱۰٪)

منابع مالی: توسط دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی دانشکده بهداشت تامین شده است.

منابع

- 1- Roknian M, Nassiri P, Zeraati H, Gholami M. Evaluation of extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields and their probable relationship with hematological changes among operators in heavy metal industry. *Iran J Med Phys.* 2009;6(3-4):47-57.
- 2- Tenforde TS, Kaune WT. Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans. *Health phys.* 1987;53(6):585-606.
- 3- Mevissen M, Buntenkötter S, Löscher W. Effects of static and time-varying (50-Hz) magnetic fields on reproduction and fetal development in rats. *Teratology.* 1994;50(3):229-37.
- 4- Zhang QM, Tokiwa M, Doi T, Nakahara T, Chang PW, Nakamura N, et al. Strong static magnetic field and the induction of mutations through elevated production of reactive oxygen species in *Escherichia coli soxR*. *Int J Radiat Biol.* 2003;79(4):281-6.
- 5- Björk J, Albin M, Welinder H, Tinnerberg H, Mauritzson N, Kauppinen T, et al. Are occupational, hobby, or lifestyle exposures associated with Philadelphia chromosome positive chronic myeloid leukaemia? *Occup Environ Med.* 2001;58(11):722-7.
- 6- Ahlbom A, Bridges J, De Seze R, Hillert L, Juutilainen J, Mattsson MO, et al. Possible effects of electromagnetic fields (EMF) on human health-opinion of the scientific

بهره‌بردار نیروگاه تولید برق از ۱/۲ میلی‌گاوس تا ۴۴/۱ میلی‌گاوس متغیر بود. حدود مجاز مواجهه شغلی با میدان‌های مغناطیسی ELF برای فرکانس ۵۰ هرتز و در خطوط انتقال برق توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونیزان، ۵۰۰۰ میلی‌گاوس تعیین شده است [20]. با در نظر گرفتن این حدود مجاز، میدان مغناطیسی در تمامی ایستگاه‌های ارزیابی شده پایین‌تر از حد مجاز بود. از طرفی در ایران تقسیم‌بندی خاصی برای حدود مجاز فرکانس‌های مختلف انجام نیافته و میزان تماس شغلی با میدان مغناطیسی برای تمام بدن ۶۰۰ گاوس اعلام شده است که تمامی ایستگاه‌های بررسی شده در نیروگاه مد نظر دارای مقادیر تماسی کمتر از این حدود مجاز بودند.

مطالعه روی میزان هموگلوبین نمونه‌ها نشان داد که کمیت هموگلوبین در کارکنان بهره‌بردار صنعت برق پایین‌تر از گروه مواجهه‌نیافته بود. کاهش میزان هموگلوبین در مطالعات حیوانی نیز تایید شده است [18, 19]. با توجه به این که آهن یکی از اجزای مولکولی در هموگلوبین است، ایجاد برهم‌کنش بین آهن (هم) و میدان مغناطیسی می‌تواند سبب کاهش غلظت هموگلوبین شود. از طرفی مطالعات متعددی تشکیل رادیکال‌های آزاد در افراد مواجهه‌یافته با میدان مغناطیسی را تایید نموده‌اند [8, 17]. بنابراین ایجاد استرس اکسیداتیو دلیلی بر کاهش هموگلوبین در افراد مواجهه‌یافته است. علاوه بر این، مواجهه منظم با میدان مغناطیسی منجر به افزایش حجم پلاسما شده است که خود باعث کاهش غلظت هموگلوبین می‌شود [11].

امروزه طیف‌سنجی FTIR ابزاری قدرتمند برای بررسی ساختار بیومولکول‌ها در نمونه‌های بیولوژیک به شمار می‌رود. تاکنون ویژگی‌های سیستم‌های بیولوژیک از جمله پروتئین‌ها، لیپیدها، غشاهای بیولوژیک و کربوهیدرات‌ها توسط دستگاه FTIR مطالعه و شناسایی شده [15] و به‌عنوان ابزاری برای تشخیص بافت‌های بیمار از سالم پیشنهاد شده است [21, 22]. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که طیف FTIR در افراد مواجهه‌یافته، تفاوت‌های معنی‌داری با افراد مواجهه‌نیافته داشت. همچنین محتوای CH₂ و CH₃ در هموگلوبین بهره‌بردار به شکل معنی‌داری در باند cm⁻¹ ۱۴۳۰ از افراد مواجهه‌نیافته بیشتر بود. بررسی طیف FTIR در ناحیه‌ای که مشخص‌کننده گروه COO اسیدگلوتامیک بود، نشان داد که میدان مغناطیسی تفاوت معنی‌داری بین محتوای این گروه عاملی ایجاد می‌نماید. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که ساختار پروتئین‌های هموگلوبین در اثر تماس با میدان‌های مغناطیسی در فرکانس‌های پایین تغییر می‌یابد و کارایی هموگلوبین را دستخوش تغییر می‌کند. تغییرات ایجاد شده در ساختار هموگلوبین در محیط کشت و خارج از بدن انسان‌ها گزارش شده است. کلابرو و ماگازو هموگلوبین استخراج شده از خون انسان را تحت تاثیر میدان مغناطیسی با فرکانس ۵۰ هرتز و با شدت یک میلی‌تسلا مطالعه کرده‌اند و نتایج نشان داده است که شدت آلفا- هلیکال پیک‌آمید I و II پس از مواجهه با میدان مغناطیسی کاهش می‌یابد [9]. همچنین افزایش در شدت بتا- شیت (آمید I) مشاهده شده است [10]. نتایج این مطالعات نشان داده که تغییر کیفی در ساختار هموگلوبین با طیف‌سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریه قابل پیگیری است.

از محدودیت‌های این مطالعه بررسی هموگلوبین افراد مواجهه‌یافته به‌تنهایی و عدم بررسی تاثیر میدان‌های مغناطیسی بر فاکتورهای مختلف خونی بود. بررسی‌های این مطالعه نشان داد که تماس با میدان مغناطیسی در میانگین ۱۰/۳ میلی‌گاوس سبب

15- Hosseini Shirazi SF, Farhadi E, Vakili Zahir N. Infrared spectrophotometry and its application in medicine. *Res Med.* 2005;29(4):379-86. [Persian]

16- Susi H, Byler DM. Protein structure by Fourier transform infrared spectroscopy: Second derivative spectra. *Biochem Biophys Res Commun.* 1983;115(1):391-7.

17- Cropp RA, Norbury J. Population interactions in ecology: A rule-based approach to modeling ecosystems in a mass-conserving framework. *Soc Indust Appl Math.* 2015;57(3):437-65.

18- Fathy Assasa M. Effect of cellular phone field on body weight, liver enzymes blood indices and role of some antioxidant in albino rats. *Al-Zahra Assiut Med J.* 2010;8(3):68-83. [Arabic]

19- Singh H, Kumar Ch, Bagai U. Effect of electromagnetic field on red blood cells of adult male swiss albino mice. *Int J Theor Appl Sci.* 2013;5(1):175-82.

20- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 1998;74(4):494-522.

21- Wong PT, Wong RK, Caputo TA, Godwin TA, Rigas B. Infrared spectroscopy of exfoliated human cervical cells: Evidence of extensive structural changes during carcinogenesis. *Proce Natl Acad Sci.* 1991;88(24):10988-92.

22- Liu Z, Bai G, Huang Y, Li F, Ma Y, Guo T et al. Microwave absorption of single-walled carbon nanotubes/soluble cross-linked polyurethane composites. *J Phys Chem C.* 2007;111(37):13696-700.

committee on emerging and newly identified health risks (SCENIHR). *Toxicology.* 2008;246(2-3):248-50.

7- Philips JL, Singh NP, Lai H. Electromagnetic fields and DNA damage. *Pathophysiol.* 2009;16(2-3):79-88.

8- Wertheimer N, Leeper ED. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol.* 1979;109(3):273-84.

9- Calabrò E, Magazù S. Unfolding-induced in haemoglobin by exposure to electromagnetic fields: A FTIR spectroscopy study. *Orient J Chem.* 2014;30(1):31-5.

10- Magazù S, Calabrò E, Campo S. FTIR spectroscopy studies on the bioprotective effectiveness of trehalose on human hemoglobin aqueous solutions under 50 Hz electromagnetic field exposure. *J Phys Chem B.* 2010;114(37):12144-9.

11- Sanz V, De Marcos S, Galbán J. Analytical applications of the optical properties of ferric hemoglobin: A theoretical and experimental study. *Microchem J.* 2014;114:175-81.

12- Srivastava T, Negandhi H, Neogi SB, Sharma J, Saxena R. Methods for hemoglobin estimation: A review of "what works". *J Hematol Transfus.* 2014;2(3):1028.

13- Zendejdel R, Masoudi-Nejad A, Hosseini Shirazi F. Patterns prediction of chemotherapy sensitivity in cancer cell lines using FTIR spectrum, neural network and principal components analysis. *Iran Pharm Res.* 2012;11(2):401-10.

14- Magazù S, Calabrò E, Campo S, Interdonato S. New insights into bioprotective effectiveness of disaccharides: An FTIR study of human haemoglobin aqueous solutions exposed to static magnetic fields. *J Biol Phys.*