Quarterly of the Horizon of Medical Sciences
Volume 20, Issue 2, Summer 2014
Pages: 127-132
Type: Original Research

Effect of 50Hz Electromagnetic Fields on P_{448} and P_{450} Cytochromes and Gonadal Steroid Hormones in Male Mice

Abbasnia V.S.* *MSc*, Pazireh N.[1] *MSc*,

[*]Biology Department, Sciences Faculty, Payam-e-Noor University, Tehran, Iran
[1]Biology Department, Sciences Faculty, Science & Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Aims: Due to the increasing and widespread usage of the variety of electric and magnetic devices and possible effect of electromagnetic fields caused by them on human health many researchers have focused to investigate the harmful effects of these fields. This study aimed to investigate the effects of 50Hz uniform electromagnetic fields on P_{450} and P_{448} cytochromes and gonadal steroid hormones in male NMRI mice.

Materials & Methods: The study was done on 12 adult male NMRI mice. The mice were randomly divided into two control and experimental groups including 6 animals. To produce the uniform electromagnetic field solenoid cramps systems were used. The experimental group was exposed to 50Hz magnetic field with an intensity of 0.06mT for 28 continuous days and consecutive 4hour for each day and the results were compared with control group that was not exposed to the field. After blood sampling, LH, FSH and testosterone levels were measured by Gamma counter then liver was removed to study the P_{448} and P_{450} cytochromes.

Findings: LH level increased in experimental group than control group and testosterone level decreased that these changes were significant statistically ($p<0.05$). FSH level had not significant change in the experimental group ($p>0.05$). Also mutagenic effects of electromagnetic fields were led to P_{448} and P_{450} cytochromes change.

Conclusion: The 50Hz electromagnetic fields can affect gonadal steroid hormones and P_{448} and P_{450} cytochromes in male NMRI mice.

Keywords
Electromagnetic Fields [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/68004574];
Gonadal Steroid Hormones [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/68012739];
Cytochromes [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/68003580];
Mice [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/68051379]

[*]Corresponding Author
Tel: +985614344297
Fax: +985614437727
Address: No.15, Ghafari 33, Ghafari Bolevard, Birjand, Iran. Postal Code: 9719687668
abbasnia.vahideh@yahoo.com
Received: November 2, 2013 Accepted: June 22, 2014 ePublished: July 1, 2014

اثر میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس ۵۰هرتز بر سیتوکروم‌های P_{448} و P_{450} و هورمون‌های جنسی در موش‌های نر

وحیده‌سادات عباس‌نیا* **MSc**
گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
نفیسه پذیره MSc
گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده
اهداف: با توجه به استفاده روزافزون و گسترده از انواع وسایل الکتریکی و مغناطیسی و تاثیر احتمالی میدان‌های الکترومغناطیسی ناشی از آنها بر سلامت انسان، توجه بسیاری از پژوهشگران به بررسی اثرات مضر این میدان‌ها معطوف شده است. این مطالعه با هدف بررسی اثر میدان‌های الکترومغناطیسی یکنواخت با فرکانس ۵۰هرتز بر سیتوکروم‌های P_{448} و P_{450}و هورمون‌های جنسی در موش نر نژاد NMRI انجام شد.
مواد و روش‌ها: این مطالعه روی ۱۲ سر موش سوری نر بالغ نژاد NMRI صورت گرفت. موش‌ها به‌صورت تصادفی در دو گروه ۶تایی کنترل و آزمایش جای گرفتند. برای تولید میدان الکترومغناطیسی یکنواخت از سیستم پیچه‌های سلونوئیدی استفاده شد. گروه آزمایش، ۲۸ روز پیوسته و در هر روز ۴ساعت متوالی در معرض میدان مغناطیسی با فرکانس ۵۰هرتز و با شدت ۰/۰۶میلی‌تسلا قرار گرفت و نتایج با گروه کنترل که در معرض میدان قرار نگرفته بود، مقایسه شد. پس از خونگیری، میزان هورمون‌های LH، FSH و تستسترون به‌روش گاماکانتر سنجش شد و سپس کبد به منظور مطالعه سیتوکروم‌های P_{448} و P_{450} خارج شد.
یافته‌ها: در گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل، سطح هورمون LH، افزایش و سطح تستسترون کاهش یافت که این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار بود ($p<0/05$). سطح هورمون FSH در گروه آزمایش تغییر معنی‌داری نداشت ($p>0/05$). همچنین اثرات جهش‌زای میدان الکترومغناطیسی منجر به تغییر سیتوکروم‌های P_{448} و P_{450} شد.
نتیجه‌گیری: میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس ۵۰هرتز می‌توانند بر هورمون‌های جنسی و سیتوکروم‌های P_{448} و P_{450} در موش‌های نر نژاد NMRI تاثیر بگذارند.
کلیدواژه‌ها: میدان الکترومغناطیسی؛ هورمون‌های جنسی؛ سیتوکروم P_{448}؛ سیتوکروم P_{450}؛ موش

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۰۱
* نویسنده مسئول: abbasnia.vahideh@yahoo.com

مقدمه
به‌دنبال استفاده روزافزون و گسترده از الکتریسیته در صنایع و کاربرد انواع وسایل الکتریکی و مغناطیسی در منازل و محیط کار و تاثیر احتمالی میدان‌های الکترومغناطیسی بر سلامت انسان، توجه بسیاری از پژوهشگران به بررسی اثرات مضر این میدان‌ها معطوف شده است [۱]. خطوط انتقال نیرو، گرمایش القایی، تصویرگیری پزشکی و کلیه وسایل برقی که در منازل مورد مصرف قرار می‌گیرند، سیستم‌های حمل و نقل برقی و بسیاری از وسایل دیگر، از جمله منابع تولید میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی هستند. در ۳۰ سال اخیر، مطالعات وسیعی در مورد اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی بر گونه‌های مختلف جانوری و انسان انجام شده است. مهم‌ترین این نتایج، بروز سرطان‌هایی چون سرطان خون، تومورهای مغزی و سرطان پستان است. با این وجود، سمت‌وسوی فعالیت‌های بشر در جهت آسایش بیشتر و استفاده از تکنولوژی پیشرفته‌تر باعث شده که انسان با وجود این خطرات، روزبه‌روز صنایعی را که به‌نحوی در تولید میدان‌های الکترومغناطیسی مصنوعی دخالت دارند، توسعه داده و خود و همنوعان خود را در معرض ابتلا به بیماری‌های ناشی از آنها قرار دهد [۱، ۲].
مطالعات رشد و نمو جنین جانوران، نشانگر اثرات زیان‌بار این میدان‌ها به‌خصوص در موش است [۸-۳]. مطالعات دیگری به افزایش تکثیر سلولی، افزایش قطر و حجم سلولی و گاه ترمیم بافت‌ها تحت تاثیر میدان الکترومغناطیسی اشاره دارند. در مورد اخیر، ترمیم استخوان شکسته [۹] و عصب قطع‌شده یا آسیب‌دیده [۱۰] بیشتر مورد نظر بوده است. بررسی‌های انجام‌شده در مورد سطوح هورمونی نیز در این خصوص نشانگر کاهش ملاتونین است [۲، ۱۳-۱۱]. مطالعات مختلف نشان داده است که تعداد اسپرماتیدها و اسپرم‌ها در موش‌های بالغی که در معرض تابش میدان الکترومغناطیسی هستند، به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. علاوه بر آن مشخص شد که در گروه‌های آزمایشی که در معرض میدان الکترومغناطیسی هستند، کاهش معنی‌داری در تعداد تیپ‌های مختلف سلول‌های زایشی به‌وجود آمده است [۱۴].
مطالعات روی وزن مجموعه بیضه و اپیدیدم، نشانه کاهش معنی‌دار وزن این مجموعه پس از میدان‌دهی است که می‌تواند بیانگر تخلیه اسپرم‌های لوله‌های منی‌ساز و اپیدیدیم باشد؛ چرا که در اطراف لوله‌های منی‌ساز در موش یک لایه سلول‌های شبه‌عضلانی وجود دارد که دارای خاصیت انقباضی است. میدان‌های الکترومغناطیسی سبب ایجاد جریان الکتریکی در بدن حیوان می‌شوند که این جریان به‌طور مستقیم و غیرمستقیم باعث تغییر در عملکرد این سلول‌ها شده و در نتیجه، روند انقباض و تخلیه اسپرم افزایش می‌یابد. علاوه بر این، ترشح موضعی اکسی‌توسین بعد از قرارگرفتن در معرض میدان الکترومغناطیسی به‌اثبات رسیده است. این فاکتور پروتئینی در فرد نر منجر به افزایش خاصیت انقباضی لوله‌های منی‌ساز می‌شود [۱۵]. لذا میدان به‌طور غیرمستقیم از طریق افزایش سنتز این فاکتور می‌تواند منجر به تخلیه اسپرم از لوله‌ها شود. فاکتور پروتئینی آرژنین- وازوپرسین که از سلول‌های لایدیگ ترشح می‌شود نیز

قادر است قدرت انقباضی را در اپیدیدیم و کانال دفران افزایش دهد [۱۶]. از طرفی، گزارش‌های پراکنده‌ای در مورد اثر امواج تلفن همراه در ایجاد سرطان‌های مختلف در بافت‌های متعدد، سیستم هورمونی، مغز و شیوع تومورهای مغزی بیان شده است [۱۷]. علاوه بر موارد ذکرشده، بررسی نتایج اثرات تابش‌های پالس‌دار الکترومغناطیس روی سنتز ملاتونین پینه‌آلی در ماهی تلئوست نشان داده است که غده پینه‌آل به‌طور مستقیم تحت تاثیر میدان‌های الکترومغناطیسی قرار گرفته و باعث جریان یون کلسیم به داخل فوتورسپتورهای پینه‌آل می‌شود [۱۸، ۱۹].

پژوهش‌های مختلف مبنی بر مطالعه اثر میدان‌های الکترومغناطیسی بر رشد و نمو موش Bl/6Jc نشان داده است میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بالا می‌توانند باعث ایجاد ۱۵ تا ۳۷٪ ناهنجاری در رشد و نمو چشم موش نسبت به گروه شاهد شوند [۲۰]. در بررسی اثر میدان‌های الکترومغناطیسی استاتیک با فرکانس ۵۰هرتز و شدت ۱۲۸میلی‌تسلا روی پارامترهای بیوشمیایی و هماتولوژی رت‌هایی که برای ۳۰ روز پیوسته و در هر روز یک ساعت در معرض میدان‌های ذکرشده قرار داشتند، مشخص شد میدان‌های الکترومغناطیس موجب افزایش گلوکز و افزایش فعالیت LDH، AST و ALT می‌شوند [۲۱]. همچنین طی پژوهشی که در آن سلول‌های آمنیون برای ۷۲ساعت در معرض میدان مغناطیسی ۵۰هرتز با شدت ۳۰میکروتسلا قرار گرفتند، سلول‌ها ناهنجاری‌های کروموزومی زیادی را نشان دادند که از لحاظ آماری معنی‌دار بود. این بررسی با میدانی که ۲ثانیه روشن و ۲۰ثانیه خاموش بود تکرار شد و نتایج مشابه به‌دست آمد [۲۲].

اگرچه میدان‌های الکترومغناطیس با قدرت بالا سلامتی را به مخاطره می‌اندازند، ولی هنوز مطالعه‌ای در مورد خطر میدان‌های الکترومغناطیس با شدت کم روی سلامتی منتشر نشده است [۲۳]. به‌دلیل اهمیت نقش میدان‌های الکترومغناطیسی در کلیه فعالیت‌های بیولوژیک و از طرفی، وجود میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس‌ها و شدت‌های مختلف در اطراف انسان و عدم مطالعه میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس و شدت پایین، مطالعه حاضر به بررسی اثر میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس ۵۰هرتز و شدت ۰/۰۶میلی‌تسلا بر هورمون‌های جنسی موش‌های نر نژاد NMRI پرداخت و تغییرات هورمونی مورد بررسی قرار گرفت. از طرف دیگر، به‌منظور بررسی اثرات سرطان‌زای میدان‌های الکترومغناطیسی، سیتوکروم‌های P_{450} و P_{448} مورد ارزیابی قرار گرفتند. این ترکیبات آنزیم‌های هموپروتئینی هستند که در تمام موجودات زنده وجود دارند و وظیفه کاتالیزکردن روند اکسیداسیون ترکیبات آلی را به‌عهده دارند. یکی از مراکز اصلی این آنزیم‌ها در بدن انسان کبد است. وظیفه اصلی این آنزیم‌ها، حذف داروها و مواد سمی و شیمیایی زاید است. محققان نشان دادند جهش در ژن کدکننده این دو پروتئین منجر به سرطان کبد می‌شود. کبد موش با داشتن میکروزوم‌های حاوی سیتوکروم‌های P_{450} و P_{448} دارای خواص ضدسرطانی است و چنانچه ترکیبات یا عواملی بتوانند منجر به جهش یا تغییر در سیتوکروم‌های P_{450} و P_{448} شوند می‌توان برای آنها نقش سرطان‌زایی در نظر گرفت [۲۲].

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر میدان‌های الکترومغناطیسی یکنواخت با فرکانس ۵۰هرتز بر سیتوکروم‌های P_{450} و P_{448} و هورمون‌های جنسی در موش نر نژاد NMRI انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه روی ۱۲ سر موش سوری نر بالغ نژاد NMRI صورت گرفت. این حیوانات از انستیتو پاستور ایران خریداری شده و به حیوان‌خانه واقع در دانشگاه پیام نور مرکز بیرجند انتقال یافتند و در اتاق حیوانات با رطوبت ۷±۶۵٪، دمای ۱±۲۳درجه سلسیوس و میزان نور مناسب (۱۲ساعت روشنایی و ۱۲ساعت تاریکی) نگهداری شدند. آب و غذا به‌میزان کافی در اختیار حیوانات قرار داده شد. پس از دو هفته نگهداری از موش‌ها، در حالی که سن موش‌ها ۸هفته و وزن آنها ۳۰-۲۴گرم بود، موش‌ها به‌صورت تصادفی در دو گروه ۶تایی کنترل و آزمایش جای گرفتند. رعایت حقوق حیوانات در پژوهش برای استفاده انسانی از حیوانات آزمایشگاهی مبتنی بر دستورالعمل‌های بین‌المللی مراقبت و استفاده از حیوانات آزمایشگاهی بود.

برای تولید میدان الکترومغناطیسی از سیستم پیچه‌های سلونوئیدی با قطر سیم یک سانتی‌متر، طول سیم ۵۰سانتی‌متر، تعداد دور ۱۰۰۰ و قطر میدان ۱۲سانتی‌متر استفاده شد. در این سیم‌لوله با کمک LCRمتر (مدل LCR200، EXTECH؛ ایالات متحده) به‌طور مستقیم مقادیر مقاومت پیچه (۱۳/۵اهم) و اندوکتانس پیچه (۳۰میلی‌هانری) اندازه‌گیری شد. با تغییر ولتاژ، شدت جریان تغییر کرده و شدت میدان به‌دست می‌آید. این کار توسط منبع تغذیه AC (مدل ED-345BM؛ کره‌جنوبی) صورت گرفت. با تغییر ولتاژ و با کمک تسلامتر (مدل PF201؛ کره‌جنوبی)، شدت میدان مورد نظر مشخص شد. فرکانس ایجادشده میدان ۵۰هرتز و شدت آن ۰/۰۶میلی‌تسلا در نظرگرفته شد.

در هر تجربه، ۶ موش در قفس کوچکی از جنس پلاستیک خشک که به این منظور تهیه شده بود قرار گرفتند و در مرکز پیچه‌ها جای داده شدند. یکی از گروه‌ها به‌عنوان گروه آزمایش در معرض میدان الکترومغناطیسی با فرکانس ۵۰هرتز و شدت ۰/۰۶میلی‌تسلا قرار گرفت و گروه دیگر به‌عنوان گروه کنترل در نظر گرفته شد. بعد از اینکه گروه آزمایش ۲۸ روز و در هر روز ۴ساعت متوالی در معرض میدان‌های ذکرشده قرار گرفت، ۲میلی‌لیتر خون از موش‌ها گرفته شد و سنجش هورمون‌های FSH، LH و تستوسترون با کمک دستگاه گاماکانتر (مدل LKB-WALAC؛ کره‌جنوبی) انجام شد.

آزمون ایمز (Ames) برای بررسی اثرات ژنوتوکسیک میدان‌های الکترومغناطیسی بر سیتوکروم‌های P_{450} و P_{448} در هپاتوسیت‌های کبدی انجام شد. باکتری سالمونلاتیفی‌موریوم TA_{100} موتان محتاج به هیستیدین، برای آزمون ایمز مورد استفاده قرار گرفت. برای آزمون می‌بایست از کشت تازه باکتری استفاده شود و مدت‌زمان انکوباسیون در کشت تازه شبانه باکتری در محیط نوترینت‌براث نباید از ۱۶ساعت تجاوز کند. غلظت مناسب باکتری‌ها $۱-۲\times۱۰^{۹}$سلول در میلی‌لیتر در نظر گرفته شد. آزمون ایمز شامل ۵۰میلی‌لیتر کشت تازه شبانه TA_{100}، ۰/۵میلی‌لیتر محلول هیستیدین (سیگما؛ آلمان) و ۰/۵میلی‌لیتر محلول بیوتین (سیگما؛ آلمان) در لوله محتوی ۱۰میلی‌لیتر تاپ‌آگار (۵۰گرم در لیتر کلریدسدیم+۵۰گرم در لیتر آگار) و ۱/۵میلی‌گرم بر میلی‌لیتر ماده سرطان‌زای آزیدسدیم (سیگما؛ آلمان) بود. سپس محتویات لوله پس از ۳ثانیه تکان‌دهی در سطح متوسط گلوکزآگار حداقل ۴۰٪ گلوکز گسترده شد و به‌مدت ۴۸ساعت در انکوباتور ۳۷درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. برای تهیه میکروزوم کبدی (S_9)، موش‌ها به‌مدت ۲۴ساعت گرسنگی داده شدند تا ترشح آنزیم‌های کبدی به‌واسطه گرسنگی تحریک شده و افزایش یابند. سپس حیوان کشته شد و کبد حیوان با پنس استریل خارج شد. کبدها در کلریدپتاسیم سرد ۰/۱۵مولار استریل و تازه‌تهیه‌شده، چندین بار شست‌وشو داده شدند تا گلبول‌های قرمز که مانع از فعالیت آنزیم‌های سیتوکروم P_{450} می‌شوند خارج شوند. پس از شست‌وشو، کبدها در هاون چینی استریل با قیچی استریل خرد و کاملا له شدند. سپس به‌ازای هر گرم کبد موش ۳سی‌سی از کلریدپتاسیم ۰/۱۵مولار به کبدها اضافه شد و وقتی مخلوط هموژنی به‌دست آمد، در داخل لوله‌های سانتریفیوژ استریل، توزیع و به‌مدت ۱۰دقیقه با سرعت ۸۷۰۰دور در دقیقه (۹۰۰g) و دمای ۴درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. بدین ترتیب، گلبول‌های قرمز جدا شده و مایع رویی شیری‌رنگ، قابل استفاده شد. مایع رویی (مخلوط S_9) جداشده با کوفاکتورهای لازم (NADP و گلوکز- ۶- فسفات) مخلوط شد و ۰/۵میلی‌لیتر به مخلوط تاپ‌آگار اضافه شد. برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد. در این آزمون پس از گذشت ۴۸ساعت انکوباسیون ۳۷درجه سانتی‌گراد، کلنی‌های برگشتی در پلیت‌های آزمایشی (آب مقطر و آزیدسدیم) شمارش شدند.

نتایج تغییرات ایجادشده در سطح هورمون‌های تستوسترون، FSH و LH و سرطان‌زایی میدان‌های الکترومغناطیسی پس از تبدیل زاویه‌ای به‌روش Tمستقل با کمک نرم‌افزار SPSS 16 مقایسه شدند.

یافته‌ها

سطح هورمون LH در گروه آزمایش (۱/۰۱±۹/۱۷میلی‌گرم برمیلی‌لیتر) نسبت به گروه کنترل (۰/۶۰±۶/۸۳میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)، افزایش و سطح هورمون تستوسترون در گروه آزمایش (۱/۵۴±۵۲/۶۷میلی‌گرم برمیلی‌لیتر) نسبت به گروه کنترل (۱/۶۴±۵۷/۵۰میلی‌گرم برمیلی‌لیتر) کاهش یافت که این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار بودند ($p<۰/۰۵$). سطح هورمون FSH بین دو گروه کنترل (۳/۱۱±۳۴/۳۳میلی‌گرم برمیلی‌لیتر) و آزمایش (۱/۸۹±۳۳/۶۷میلی‌گرم برمیلی‌لیتر) تغییر معنی‌داری نداشت ($p>۰/۰۵$). تعداد کلنی‌ها در گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل افزایش یافت و این افزایش هم در مجاورت ترکیب کارسینوژن و هم در مجاورت آب مقطر مشاهده شد ($p<۰/۰۵$).

بحث

محور هیپوتالاموس- هیپوفیز- گناد (H-P-G)، یک سیستم کلاسیک فیدبکی اندوکرینی برای کنترل دقیق سطوح هورمونی در گردش خون و فرآیند اسپرماتوژنز محسوب می‌شود. بدین صورت که GnRH (هورمون آزادکننده گنادوتروپین‌ها) به‌صورت پالس‌دار از هیپوتالاموس ترشح می‌شود و با تاثیر بر هیپوفیز قدامی موجب تحریک ترشح گنادوتروپین‌های FSH و LH می‌شود. این هورمون‌های گلیکوپروتئینی به‌ترتیب بر سلول‌های لایدیگ و سرتولی اثر می‌گذارند و سبب ترشح تستوسترون برای ایجاد صفات جنسی ثانویه و تولید اسپرم می‌شوند [۲۴]. غلظت هورمون LH در سرم موش‌های گروه آزمایش به‌میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. این در حالی است که میزان تستوسترون در سرم کاهش یافت و غلظت FSH تغییری نکرد. کاهش مقدار تستوسترون احتمالاً به‌دلیل آسیب به سلول‌های لایدیگ است، چرا که میدان‌های الکترومغناطیسی از طریق افزایش گونه‌های واکنشگر اکسیژن (ROS) منجر به تولید رادیکال‌های آزاد می‌شوند. با توجه به ویژگی رادیکال‌های آزاد در شکستن پیوندهای دوگانه پروتئین‌های کانالی و ساختاری، غشا تخریب شده و به‌دلیل ایجاد این تغییرات ویژگی‌های سلول‌های لایدیگ تغییر می‌کند [۲۵] و با توجه به اثر میدان‌های الکترومغناطیسی در تخریب میتوکندری، سلول قادر به تامین انرژی برای انجام فعالیت‌های خود نخواهد بود. از طرف دیگر، میدان‌های الکترومغناطیسی با آسیب به سیستم گلژی و شبکه اندوپلاسمی منجر به تغییر در ویژگی‌های ترشحی این سلول‌ها می‌شوند [۱۴، ۲۶]. همه این موارد سبب می‌شود تا عملکرد سلول‌های لایدیگ مختل شود و سلول نتواند تستوسترون کافی ترشح کند. تستوسترون سیگنال اصلی است که هیپوتالاموس را از وضعیت بیضه‌ها باخبر می‌سازد و ترشح LH را در فرد نر تنظیم می‌نماید [۲۵، ۲۷، ۲۸]. کاهش ترشح تستوسترون منجر به افزایش ترشح GnRH در هیپوتالاموس می‌شود و افزایش GnRH ترشح LH از آدنوهیپوفیز را افزایش می‌دهد تا کاهش تستوسترون را جبران کند، ولی به دلیل اختلال در عملکرد لایدیگ تستوسترون افزایش نمی‌یابد [۲۴]. عدم حساسیت احتمالی

سلول‌های لایدیگ به LH بیانگر اختلال در عملکرد استروئیدوژنیک در اثر تابش میدان الکترومغناطیسی است. از طرفی، تعداد گیرنده‌های LH روی سلول‌های لایدیگ پس از مواجهه با غلظت‌های بسیار زیادی از این هورمون به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و همراه با این کاهش، حساسیت سلول لایدیگ نسبت به LH از بین می‌رود و این حالت منجر به کاهش ترشح تستوسترون می‌شود [۲۹]. در هر حال، اثبات این فرضیه نیاز به تحقیقات جامع‌تری خواهد داشت.

برخی از پژوهشگران اعلام می‌کنند که میدان‌های الکترومغناطیسی منجر به افزایش پرولاکتین می‌شوند. پرولاکتین هورمونی چندکاره است که از هیپوفیز قدامی ترشح شده و باعث کاهش سطح تستوسترون می‌شود [۳۰، ۳۱]. پس می‌توان کاهش در سطح تستوسترون را به افزایش میزان پرولاکتین نسبت داد. گروهی دیگر از پژوهشگران نیز معتقدند که میدان‌های الکترومغناطیسی موجب کاهش سطح ملاتونین می‌شوند [۳۶-۳۲]. ملاتونین، غده هیپوفیز را تحت تاثیر قرار داده و ترشح پرولاکتین را مهار می‌کند. با توجه به کاهش ملاتونین، ترشح پرولاکتین افزایش می‌یابد [۳۴، ۳۷]. از طرف دیگر، ملاتونین ترشح GnRH را از طریق کاهش فعالیت آدنوزین‌مونوفسفات حلقوی (cAMP) و کلسیم مهار می‌کند و با کاهش ملاتونین سطح GnRH افزایش یافته و میزان FSH و LH نیز افزایش می‌یابد [۳۷] که ما در این پژوهش شاهد افزایش معنی‌دار LH و افزایش غیرمعنی‌دار FSH بودیم. شاید این طور تصور کنیم که همراه با افزایش LH باید افزایشی در غلظت FSH نیز وجود داشته باشد. اما باید گفت براساس شواهد ایمنوسیتوشیمیایی، هرچند LH و FSH هر دو به‌وسیله یک نوع سلول در هیپوفیز قدامی ترشح می‌شوند، ولی این گنادوتروپ‌ها جمعیت ناهمگنی از سلول‌هایی با اندازه‌های متفاوت هستند که علاوه بر محتوای هورمونی، حساسیت آنها نیز در برابر GnRH متفاوت است [۳۷].

با توجه به اینکه اکثر عوامل جهش‌زا سرطان‌زا هستند، شناخت عوامل جهش‌زا بسیار حایز اهمیت است. مطالعات اپیدمیولوژی نشان می‌دهند که میدان‌های الکترومغناطیسی یکی از مهم‌ترین عوامل سرطان‌زایی هستند که موجودات زنده از جمله انسان با آن مواجه است [۲]. در مطالعه حاضر، بررسی میانگین درصد رشد کلنی‌ها نشان داد که دو گروه کبد، تاثیرات متفاوتی روی رشد کلنی‌ها داشته‌اند. می‌توان احتمال داد میدان‌های الکترومغناطیسی، اثرات ژنوتوکسیک خود را بر سیستم سیتوکرومی $P_{450/448}$ اعمال کرده‌اند. با توجه به اینکه با افزایش فعالیت سیتوکروم P_{450} یا آروماتاز، سطح استروژن افزایش می‌یابد و از آن جا که استروژن در بدن به‌عنوان فاکتور رشد عمل می‌کند، می‌توان احتمال داد میدان‌های الکترومغناطیسی با افزایش این فاکتور (P_{450}) و افزایش سطح استروژن، تکثیر سلولی را افزایش داده و سلول‌ها را به سمت سرطانی‌شدن پیش می‌برند [۵] و همین امر موجب افزایش رشد کلنی‌ها در گروه میدان‌دیده نسبت به گروه کنترل شده است که البته اثبات این فرضیه، نیاز به مطالعه وسیع‌تر و جامع‌تری دارد.

محققان عقیده دارند میدان مغناطیسی با افزایش جریان یون‌های کلسیم در سلول‌های کبدی و بالابردن سرعت تکثیر در آنها، در نهایت منجر به تیپ خاصی از سرطان می‌شود [۳۴]. پس می‌توان گفت احتمالاً میدان مغناطیسی با افزایش جریان یون‌های کلسیم در سلول‌های کبدی و بالابردن سرعت تکثیر در آنها، باعث آسیب‌های کبدی در پژوهش حاضر شده است. در مورد علت سرطانی‌شدن نظرات مختلفی ارایه شده است. برخی معتقدند میدان ممکن است باعث تولید رادیکال‌های آزاد و عوامل فعال دیگر شود که این مواد حدواسط با اینکه عمر کوتاهی دارند، ولی بسیار فعال هستند و با حمله به DNA، لیپید، پروتئین و ماکرومولکول‌های دیگر به آنها آسیب می‌رسانند [۳۴]. در رابطه با چگونگی ایجاد حالت‌های ذکرشده می‌توان اعلام کرد میدان‌های الکترومغناطیسی منجر به افزایش واکنش‌های ROS می‌شوند و این واکنش‌ها احتمالاً سبب برهم‌خوردن روند تقسیم سلولی و ایجاد جهش و در نهایت منجر به آسیب سلولی و ایجاد سرطان می‌شوند [۳۴].

از محدودیت‌های مطالعه می‌توان به تاثیر عوامل مختلف فیزیولوژیک و محیطی موثر که در هر لحظه بر یک سیستم زنده حاکم است اشاره کرد. به‌طور قطعی نمی‌توان مدعی شد چه مکانیزمی موجب تغییرات زیستی خاص می‌شود، چرا که عوامل بسیار متنوعی در نحوه تاثیرگذاری میدان مغناطیسی بر موجودات زنده دخیل هستند. بنابراین پژوهش‌های گسترده دیگری برای تعیین مکانیزم عمل و چگونگی تاثیر این میدان‌ها بر موجودات زنده لازم است تا الگویی مشخص برای محافظت انسان‌ها و سایر موجودات از اثرات مضر این میدان‌ها به‌دست آید.

نتیجه‌گیری

میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس ۵۰هرتز و شدت ۰/۰۶میلی‌تسلا منجر به تغییر در سطح هورمون‌های جنسی و عملکرد سیتوکروم‌های P_{450} و P_{448} در موش‌های نر نژاد NMRI می‌شوند.

تشکر و قدردانی: نویسندگان مقاله بر خود واجب می‌دانند از کارکنان آزمایشگاه زیست‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه پیام نور تشکر و قدردانی نمایند.

تاییدیه اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع مالی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

1- Goldberg RB, Creasey WA. A review of cancer including by extremely low frequency electromagnetic field. Is there a plausible mechanism?. Med Hypothesis. 2003;35(3):256-75.

2- Löscher W, Wahnschaffe U, Mevissen M, Lerchl A, Stamm A. Effect of weak alternating magnetic fields on noctunal melatonin production and mammary carcinogenesis in rat. Oncology. 1994;51(3):288-95.

3- Stevens RG. Breast cancer and electric power. Biomed Pharmacother. 1993;47(10):435-8.

4- Strand JA, Abernethy CS, Skalski, JR, Genoway RG. Effects of magnetic fields exposure on fertilization success in rainbow trout, salmon gairdneri. Bioelecromagnetic. 1983;4(4):295-301.

5- Zare S, Hayatgeibi H, Alivandi S, Ebadi AG. Effects of whole-body magnetic field on changes of glucose and cortisol hormone in guinea pigs. Am J Biochem Biotechnol. 2005;1(4):217-9.

6- Delgado J, Leal J, Monteagudo JL, Gracia MG. Embryological change induced by week extremely low frequency electromagnetic field. J Anat. 1982;134(3):533-51.

7- Ubeda A, Leal J, Trillo MA, Jimenez MA, Delgado JM. Pulse shape of magnetic fields influence chick embryogenesis. J Anat. 1983;137(3):513-36.

8- Kartashev AH. Biological mechanism of long-term effect of alternating electric field on the development of mice. Fiziologicheskii zhurnal. 1992;38(3):81-5. [Russian]

9- Bassett CAL, Mitchell SN, Gaston SR. Treatment of united tibial diaphysis features with pulsing electromagnetic field. J Bone Joint Surg. 1981;63(4):511-23.

10- Soeradi O, Tadjudin MK. Congenital anomalies in the offspring of rats after exposure of the testis to an electromagnetic field. Int J Androl. 2001;9(2):152-60.

11- Pool R. Electromagnetic fields: The biological evidence. Science. 1990;249(4975):1378-81.

12- Reiter RJ. Electromagnetic field and melatonin. Biomed Pharmacother. 1993;47(10):439-44

13- Zagorskaia EA. Reaction of the endocrine system and peripheral blood of rats to a single and chronic exposure to pulsed low-frequency electromagnetic field. Kosmicheskaia Biologiia I Aviakosmicheskaia Meditsina. 1989;24(2):56-60. [Russian]

14- Khaki AA, Zarrintan S, Khaki A, Zahedi A. The effects of electromagnetic field on the microstructure of seminal vesicle in rat: A light and Transmissions electron microscope study. Pak J Biol Sci. 2008;11(5):692-701.

15- Pickering BT, Birkett SD, Guldenaar SE, Nicholson HD, Worley RT, Yavachev L. Oxytocin in the Testis: What, Where, and Why?. Ann New York Acad Sci. 1989;564(1):198-209.

16- Wathes DC. Oxytocin and vasopressin in the gonads. Oxf Rev Reprod Biol. 1989;11:225-83.

17- Inskip PD, Tarone RE, Hatch EE, Wilcosky TC, Shapiro WR, Selker RG, et al. Cellular-telephone use and brain tumors. N Eng J Med. 2001;344(2):79-86.

18- Lerchl A, Zachmann A, Ather Ali M, Reiter RJ. The effect of pulsing magnetic field on pineal melatonin synthesis in a teleost fish. Mut Res. 1998;256(3):171-3.

19- Ivancsits S, Pilger A, Diem E, Jahn O, Rüdiger HW. Cell type-specific genotoxic effects of intermittent extremelylow-frequency electromagnetic field. Mut Res. 2005;583(2):184-8.

20- Tyndall DA, Sulik KK. Effect of magnetic resonance imaging on eye development in the C57BL/6J mouse. Teratology. 1991;43(3):263-75.

21- Amara S, Abdelmelk H, Ben Salem M, Abidi S, Sakly M. Effects of static magnetic field exposure on hematological and biochemical parameters in rats. Braz Arch Biol Technol. 2006;49(6):889-95.

22- Nordenson I, Mild KH, Andersson G, Sandström M. Chromosomal aberrations in human amniotic cell after intermittent exposure to 50 Hz magnetic fields. Bioelectromagnetics. 1994;15(4):293-301.

23- Nakahara T, Yaguchi H, Yoshida M, Miyakoshi J. Effects of exposure of CHO-K1 cells to a 10-T static magnetic field. Radiology. 2002;224(3):817-22.

24- Celikozlu SD, Ozyurt MS, Cimbiz A, Yardimoglu MY, Cayci MK, Ozay Y. The effects of long-term exposure of magnetic field via 900-MHz GSM radiation on somebiochemical parameters and brain histology in rats. Electromagnetic Biol Med. 2012;31(4):344-55.

25- Lantow M, Lupke M, Frahm J, Mattsson MO, Kuster N, Simko M.. ROS release and HSP_{70} expression after exposure to 1 .800 MHZ radiofrequency electromagnetic field in primary human monocytes and lymphocytes. Radiat Environ Biophys. 2006;45(1):55-62.

26- Lin H, Goodman R, Shirley-Henderson A. Specific region of the C-myc promoter is responsive to electric & magnetic field. J Cell Biochem. 1994;54(3):281-8.

27- Braune S, Riedel A, Schulte-Mönting J, Raczek J. Influence of a radio frequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameter of the autonomic nervous in healthy individuals. Radiat Res. 2002;158(3):352-6.

28- Zotti-Martelli L, Peccatori M, Scarpato R, Migliore L. Induction of micronuclei in human lymphocytes exposed in vitro to microwave radiation. Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen. 2000;472(1):51-8.

29- De Rosa M, Zarrilli S, Di Sarno A, Milano N, Gaccione M, Boggia B, et al. Hyperprolactinemia in men. Endocrine. 2003;20(1-2):75-82.

30- Esquifino AL, Chacon F, Jimense V, Reyes-Toso CF, Cardinali DP. 24-hour changes in circulating prolactin, follicle-stimulating hormone, luteinizing hormone and testosterone in male rats subjected to social isolation. J Circadian Rhythm. 2004;36(5):112-24.

31- Kato M, Honma K, Shigemitsu T, Shiga Y. Circulating polarized 50-Hz magnetic field exposure reduce pineal gland and blood melatonin concentration of long-evans rat. Neurosci Let. 1994;166(1):59-62.

32- Kumlin T, Keilkkinen P, Laitinen JT, Juutilanin J. Exposure of 50 HZ magnetic field induces a circulation rhythm in 6-hydroxymelatonin sulfate excretion in mice. J Radiat Res. 2005;46(3):313-8.

33- Mevissen M, Lerchl A, Szmel M, Loscher W. Exposure of DMBA-treated female rats in a 50-Hz, 50 micro Tesla magnetic field: effects on mammary tumor growth, melatonin levels, and T lymphocyte activation. Carcinogenesis. 1996;17(5):903-10.

34- Selmaoui B, Touitou Y. Sinusoidal 50 HZ magnetic fields depress rat pineal NAT activity and serum melatonin. Role of duration and intensity of exposure. Life Sci. 2005;57(14):1351-8.

35- Mostafa RM, Moustafa YM, Ali FM, Shafik A. Sex hormone status in male rats after exposure to 50HZ, 5mT magnetic field. Syst Biol Reprod Med. 2006;52(5):363-9.

36- Mostafa RM, Moustafa YM, Ennaceur A. Effects of exposure to extremely low frequency magnetic field of 2 G intensity on memory and corticosterone level in rats. Physiol Behav. 2002;76(4):589-95.

37- Davis S, Mirick DK, Chen C, Stanczyk FZ. Effects of 60-Hz Magnetic Field Exposure on Nocturnal 6-Sulfatoxymelatonin, Estrogens, Luteinizing Hormone, and Follicle-Stimulating Hormone in Healthy Reproductive-Age Women: Results of a Crossover Trial .Ann Epidemiol. 2006;16(8):622-31.