



Mobile phone exposure during pregnancy disrupts learning and memory in rat offsprings

Mohammad Shabani^{1*}, Tayebeh Khezri Fard², Mobin Aghapour³, Shahnaz Parsania¹

1. Kerman Neuroscience Research Center, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

2. Dept. of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Fars, Iran.

3. Bionic Mobin CO, Kerman, Iran

Received: 12 Oct 2012

Accepted: 21 Nov 2012

Abstract

Introduction: Mobile phones create high-frequency electromagnetic fields around them when in use. The close proximity of mobile phones to the user's head leads to the absorption of part of the electromagnetic waves into the head and the brain.

Methods: We have elucidated the alteration in cognitive function of the male and female offspring rats, which were exposed to chronic mobile phone exposure during their gestational period using Shuttle box and Morris Water Maze (~20 days).

Results: The results of the passive avoidance and Morris Water Maze assessment of learning and memory performance showed a decrease in learning and memory in rats exposed to mobile phone. Exposure to EMF increased the shock number (Shuttle box test) and distance (Morris Water Maze test) compared to control groups ($P < 0.05$).

When the testing was performed 1 and 7 days after the shock experience (28-30 days post- mobile phone exposure), the step-through latency was significantly decreased in male and female mobile phone-exposed rats compared to the control rats ($P < 0.01$). Results from the probe test were measured as mean percentage [%] time spent in correct quadrant showed that mobile phone exposure significantly decreased the percent time spent in the correct quadrant compared to control ($p < 0.05$).

Conclusion: Our results suggest that, mobile phone is able to induce a serious disruption in learning and memory and these observed deficits would suggest that we should limit the usage of these instruments during pregnancy.

Key words: Mobile phone, Pregnancy, Learning and memory, offspring, Rat

* Corresponding author e-mail: shabanimoh@yahoo.com
shabani@kmu.ac.ir

Available online at: www.phypha.ir/ppj

اختلال در یادگیری و حافظه نوزادان موشهای صحرایی متعاقب مواجهه جنینی با امواج موبایل

محمد شعبانی^{۱*}، طیبه خضری فرد^۲، مبین آقاپور^۳، شهرناز پارسانیا^۱
۱. مرکز تحقیقات علوم اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان
۲. گروه بیولوژی، شاخه علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، فارس
۳. شرکت کیمبای کهربای مبین، کرمان

پذیرش: ۱ آذر ۹۱

دریافت: ۲۱ مهر ۹۱

چکیده

مقدمه: دستگاه موبایل در هنگام استفاده امواج الکترومغناطیسی با فرکانس بالا ساطع می‌کند و نزدیک بودن این وسایل به سر در هنگام استفاده منجر به جذب قسمتی از این امواج الکترومغناطیس به داخل مغز و سر می‌شود. به نظر می‌رسد خطرات احتمالی ناشی از این تکنولوژی یک نگرانی جدی است.
روش‌ها: عملکرد شناختی فرزندان نر و ماده موش‌های صحرایی را که به طور مزمن در طی دوران حاملگی به مدت ۲۰-۲۲ روز در معرض امواج موبایل بودند با استفاده از آزمونهای یادگیری احترازی غیر فعال و ماز آبی موریس در روزهای ۲۸-۳۰ پس از تولد مورد بررسی قرار دادیم.
یافته‌ها: نتایج یادگیری احترازی غیر فعال (آزمون شاتل باکس) و ارزیابی عملکرد حافظه فضائی (ماز آبی موریس) نشان داد که قرار گرفتن در معرض امواج موبایل، باعث کاهش یادگیری، حافظه و همچنین افزایش تعداد شوک‌ها و افزایش مسافت در مقایسه با گروه کنترل شد ($P < 0.05$). با انجام آزمون به خاطر آوری یک و هفت روز پس از شوک، اولین زمان ورود به اتاق تاریک به طور قابل توجهی در موش‌های در معرض موبایل نسبت به موش‌های کنترل کاهش یافت ($P < 0.01$). نتایج آزمون پروب بصورت میانگین درصد زمان سپری شده در ربع هدف اندازه گیری شد و نشان داد که قرار گرفتن در معرض امواج موبایل، درصد زمان سپری شده در ربع هدف را در مقایسه با گروه کنترل کاهش می‌دهد ($P < 0.05$).
نتیجه گیری: نتایج ما نشان می‌دهد که امواج موبایل با اختلالات جدی در یادگیری و حافظه همراه است و این نقص‌های ناشی از قرار گرفتن مزمن در معرض امواج موبایل شاید استفاده از وسایل تولید کننده میدان‌های الکترومغناطیس را محدود کند.

واژه‌های کلیدی: تلفن موبایل، حاملگی، یادگیری و حافظه، فرزندان، موش صحرایی

مقدمه

برانگیخته است [۲، ۶]. میدان‌های الکترومغناطیس (EMF) در اطراف دستگاه‌های مختلفی که با نیروی الکتریسیته کار می‌کنند؛ ایجاد می‌شود. امروزه این دستگاه‌ها در زندگی ما کاربرد فراوان داشته و امواج حاصل از آن‌ها می‌توانند بر سلول‌های بدن تأثیر گذار باشند. تحقیقات انجام گرفته در این زمینه اکثراً مطالعات اپیدمیولوژیکی بوده که در آن‌ها اثر امواج بر شیوع سرطان، نازائی، اختلالات تکاملی جنین و بیماری‌های قلبی و عروقی، گوارشی و نیز علائمی مانند اختلالات خواب

گسترش روز افزون دستگاه‌ها، تجهیزات الکترونیکی و الکترونیکی با افزایش امواج الکترومغناطیس در محیط اطراف و مناطق مسکونی توأم شده و بحث درباره مضرات احتمالی آن را

shabanimoh@yahoo.com

www.phypha.ir/ppj

* نویسنده مسئول مکاتبات:

وبگاه مجله:

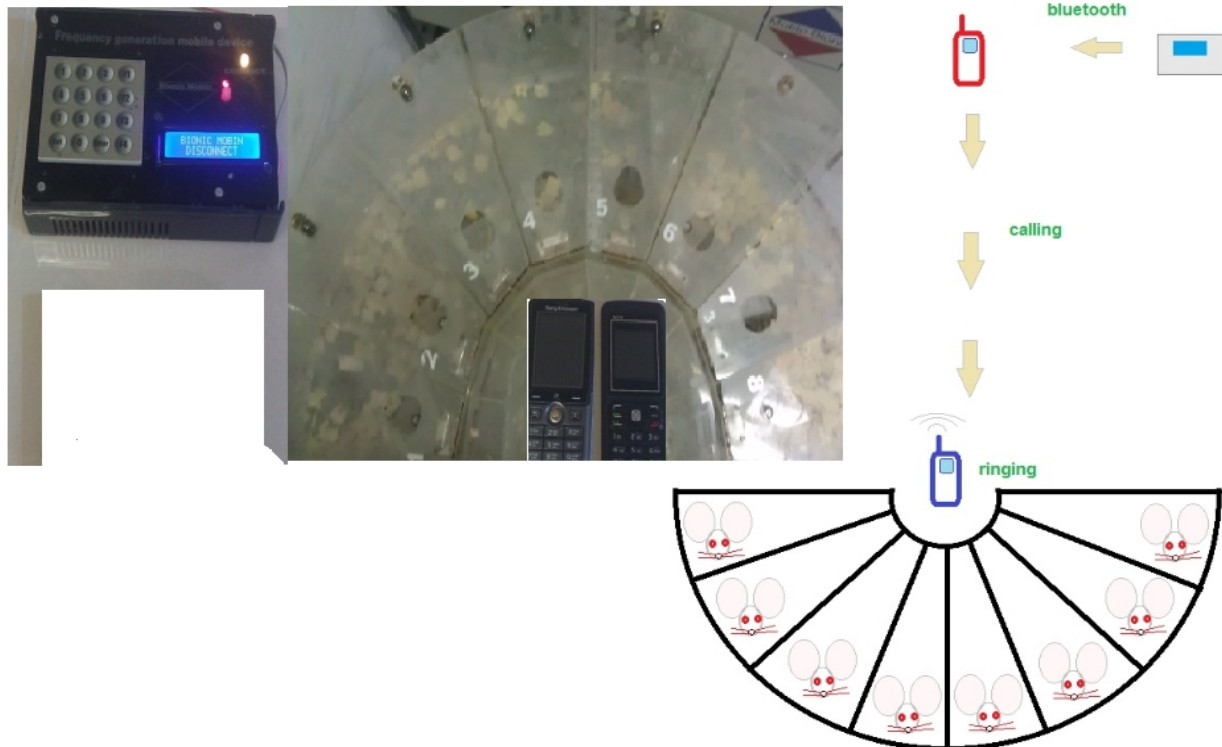
مواد و روش ها

در این مطالعه از موش‌های صحرایی ماده از نژاد Wistar با زایمان بار اول در محدوده وزنی ۲۵۰-۲۰۰ گرم استفاده شد. حیوانات در شرایط سیکل تاریکی-روشنایی ۱۲ ساعته و دمای محیطی کنترل شده (۲۲-۲۰ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند و دسترسی آزاد به آب و غذا داشتند. یک جفت موش صحرایی ماده با یک نر جهت جفت‌گیری در آخرین ساعات بعدازظهر در یک قفس قرار گرفته و اسپرم واژینال در صبح روز بعد ساعت ۹ انجام شد و روزی که اسپرم مشاهده شد به عنوان روز صفر در نظر گرفته شد. موش‌های حامله به طور تصادفی به گروه‌های تحت تأثیر امواج موبایل و کنترل تقسیم شدند (۸ موش در هر گروه). موش‌های گروه آزمایش در تمام دوران حاملگی از روز اول و هر روز از ساعت ۸ تا ۱۴ در قفس مخصوص تحت تأثیر امواج موبایل قرار گرفتند. موش‌های گروه کنترل با شرایط مشابه موش‌های تحت تأثیر امواج موبایل، تحت مراقبت قرار گرفتند با این تفاوت که در محیط و جعبه در نظر گرفته برای تشعشع امواج موبایل، سیستم تولید کننده فرکانس موبایل خاموش بود. پس از زایمان موش‌ها، فرزندان آن‌ها تحت مراقبت قرار گرفتند و از نوزادان موش صحرایی در محدوده سنی ۳۰-۲۸ روز با میانگین وزنی ۶۰-۵۰ گرم برای انجام آزمایشات استفاده شد. فرزندان رت‌ها در روز ۲۳ پس از تولد به صورت گروهی و با تفکیک جنسیت در داخل قفس‌های جداگانه نگهداری می‌شدند و به طور آزادانه به غذا و آب دسترسی داشتند. از غذای فشرده (کنستاتره) جهت تغذیه استفاده شد. در نهایت از فرزندان رت‌ها ۴۰ سر موش صحرایی ماده و نر نژاد ویستار به طور تصادفی انتخاب شده و در ۴ گروه ۱۰ تایی تقسیم شدند. گروه‌ها شامل ۲ گروه کنترل (نر و ماده) و ۲ گروه دریافت کننده امواج موبایل (نر و ماده) بود. ابتدا فعالیت‌های شناختی و حافظه حیوانات گروه کنترل و سپس فعالیت‌های شناختی و حافظه حیواناتی که تحت تأثیر امواج بودند، سنجش شد و تغییرات حاصله با گروه کنترل مقایسه گردید.

در ابتدای آزمایشات از ۸ رت مادر حامله در هر دو گروه (کنترل و امواج موبایل) استفاده کردیم که حداقل فرزندان هر رت ۶ و حداکثر ۱۴ بود. هیچ یک از رت‌هایی که در آزمون

مورد بررسی قرار گرفته است. سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری به صورت *In Vivo* و *In Vitro* انجام شده که نتایج حاصل بر حسب نوع سلول یا بافت مورد مطالعه و شرایط فیزیکی دستگاه‌های تولید کننده امواج (فرکانس‌های ۳۳، ۵۰ و ۶۰ هرتز)، با یکدیگر اختلاف داشته است [۴، ۲۶]. رشد چشم‌گیر استفاده از تلفن همراه باعث توجه گسترده پژوهشگران به آثار زیستی ناشی از این تلفن‌ها شده است، در حالی که هنوز اثرات زیست‌شناختی استفاده طولانی مدت از این تلفن‌ها به خوبی مشخص نشده است [۱۴]. اثر امواج میکروویو تابشی از تلفن همراه بر روی فعالیت‌های شناختی انسان هنوز در حاله‌ای از ابهام قرار دارد [۱۷]. این احتمال وجود دارد که مواجهه با امواج تلفن همراه ایجاد پتانسیل‌های آهسته را در نواحی از مغز کاهش داده و بر روی حافظه اثر بگذارند [۱۴]. امواج الکترومغناطیسی ناشی از موبایل قادر است بر روند‌های سیستم عصبی مرکزی تأثیر گذاشته و تثبیت حافظه را دچار اختلال نماید و مشخص شده که مدت زمان قرارگیری در معرض این امواج الکترومغناطیس با اختلال بوجود آمده ارتباط مستقیم دارد [۵]. Hao و همکارانش (۲۰۱۲) نشان دادند که مواجهه مزمن با امواج موبایل با فرکانس ۹۱۶ مگا هرتز باعث تغییر در الگوی شلیک نورونهای هیپوکمپ و همچنین اختلال در یادگیری می‌شود [۷]. در حالیکه نتایج Yamaguchi و همکارانش (۲۰۰۳) نشان داد که مواجهه با امواج موبایل تنها در صورتی با اختلالات حافظه و یادگیری همراه خواهد بود که با تغییرات حرارتی همراه باشد و باعث افزایش دمای بدن شود در غیر این صورت امواج موبایل با فرکانس ۱۴۳۹ مگاهرتز قادر به تغییراتی در عملکردهای شناختی نمی‌شود [۲۵].

با توجه به بررسی‌های انجام شده در مورد تأثیر فرکانس موبایل و اثرات ناشی از آن بر عملکرد سیستم عصبی و مورفولوژی برخی از ساختمان‌های مغز، به نظر می‌رسد که مواجهه جنینی با این امواج بر روی فعالیت‌های رفتاری و شناختی پس از تولد و در دوران رشد بی تأثیر نباشد و با توجه به اینکه مطالعه‌ای در زمینه تأثیر این امواج در دوره جنینی بر روی فعالیت‌های شناختی نوزادان در دو جنس نر و ماده انجام نشده است، بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر امواج موبایل بر حافظه فضایی و یادگیری احترازی غیر فعال موش‌های صحرایی پایه‌ریزی شد.



شکل ۱- دستگاه تولید کننده فرکانس امواج موبایل و شماتیک مواجهه با این امواج (طراحی شده توسط شرکت کیمیا کهرهای مبین) شامل یک مولد تولید فرکانس موبایل (۹۰۲MH) و دو گوشی تلفن همراه که یکی از گوشی‌ها در مرکز نیم دایره و گوشی دیگر نزدیک آنتن قرار داشت.

شده در مرکز نیم دایره ۱۰ سانتیمتر بود. با توجه به اینکه فقط از سیستم زنگ تلفن همراه با گوشی K750 استفاده می‌شد و فرکانس‌های مربوط به اس ام اس غیر فعال بود، بنابراین تنها فرکانس بکار رفته ۹۰۲ مگا هرتز و به صورت DC بود. شدت میدان الکتریکی توسط یک اسپکتروم آنالایزر امواج رادیویی (Anritsu MS2711, Japan) اندازه گیری شد و این شدت میدان در رنج $1/2-0/4 \text{ mW/2cm}$ بود که این رنج شدت باعث تغییرات دمایی در بدن رت‌ها نمی‌شود.

آزمون حافظه احترازی غیر فعال: جهت بررسی اختلال احتمالی ناشی از تأثیر امواج موبایل بر روی سیستم حافظه در آزمون یادگیری احترازی غیر فعال از جعبه دو قسمتی (شاتل باکس) استفاده شد که از دو محفظه تاریک و روشن با اندازه برابر و یک درب گیوتینی قابل کنترل بین آنها تشکیل شده است. در انتهای دوره، حیوان برای سازش و عادت به فضای داخل دستگاه، در بخش روشن قرار می‌گرفت که رو به سمت مقابل بخش تاریک است، بعد از ۱۰ ثانیه درب بین دو محفظه باز و اجازه داده می‌شد حیوان آزادانه وارد بخش تاریک گردد. در این مرحله زمان تأخیر در ترک بخش روشن و ورود به قسمت تاریک ثبت می‌شد. اگر این زمان بیش از ۶۰ ثانیه

یادگیری احترازی غیر فعال استفاده شدند در آزمون ماز آبی موریس استفاده نشدند. زمان انجام تمام آزمایشات از ساعت ۸ صبح الی ۱۴ بعد از ظهر بود.

دستگاه تولید کننده فرکانس امواج موبایل (طراحی شده توسط شرکت کیمیا کهرهای مبین) شامل یک مولد تولید فرکانس موبایل (۹۰۲ MH) و دو گوشی تلفن همراه بود. این دستگاه قابل برنامه ریزی بود و قادر بود بین دو گوشی در مدت زمان مورد نظر به صورت پالسی تماس برقرار کند. همچنین از یک جعبه شیشه ای طراحی شده جهت قرار دادن حیوانات در معرض امواج موبایل استفاده کردیم که این جعبه شامل ۸ جایگاه برای قرار دادن ۸ رت به صورت جداگانه بود و موبایل در فاصله یکسانی برای تمام رت‌ها قرار می‌گرفت (شکل ۱). در تمام مدت تشعشع امواج مانند مواقع استراحت، شرایط آب و غذایی یکسانی برای گروه‌های کنترل و موبایل فراهم شد. در مرکز نیم دایره تنها موبایلی که زنگ می‌خورد قرار داشت و موبایل دیگر به همراه آنتن در فاصله ای حدود ۱ متری موبایل مورد نظر قرار داشتند. تمام رت‌ها در قفس‌های یک شکل و یک اندازه قرار داشتند و محدوده حرکتی برای آن‌ها حداکثر ۳۰ سانتیمتر بود و حداقل فاصله برای تمام رت‌ها تا موبایل جاسازی

طول می‌کشید به علت انگیزه کم حیوان برای ترک بخش روشن و ورود به قسمت تاریک، از مطالعه حذف می‌گردید. دو ساعت بعد از تجربه سازش مرحله آموزش یا اکتساب انجام می‌شد [۱۲، ۱۳]. در این مرحله، حیوان به همان صورت قبل داخل ناحیه روشن قرار داده می‌شد. در مرحله آموزش شبیه سازش است، به جزء اینکه بلافاصله بعد از ورود حیوان به محفظه تاریک درب گیوتینی بسته و شوک الکتریکی (با فرکانس ۵۰ هرتز، شدت ۵/۰ میلی آمپر و مدت ۲ ثانیه) به کف دست و پای حیوان داده می‌شد و پس از ۲۰ ثانیه، حیوان به قفس بازگردانده می‌شد. بعد از دو دقیقه حیوان مجدداً در بخش روشن قرار گرفته و مرحله آموزش تکرار می‌گردید و اگر دوباره وارد ناحیه تاریک می‌شد، شوک می‌گرفت و تعداد دفعات دریافت شوک ثبت می‌شد. به منظور آزمون به خاطر آوری، در ۲۴ ساعت و ۷ روز پس از آموزش، پاسخ‌های احترازی غیر فعال مجدداً اندازه‌گیری می‌شد. در این مرحله به حیوان شوک داده نمی‌شد و ماکزیمم زمان برای ورود به منطقه تاریک سیصد ثانیه بود. مدت زمان تأخیر در ورود مجدد به محفظه تاریک (STL)^۱، تعداد دفعات ورود (CN)^۲ و مدت زمان ماندن در ناحیه تاریک (TDC)^۳ اندازه‌گیری شد [۱۲، ۱۹، ۲۳].

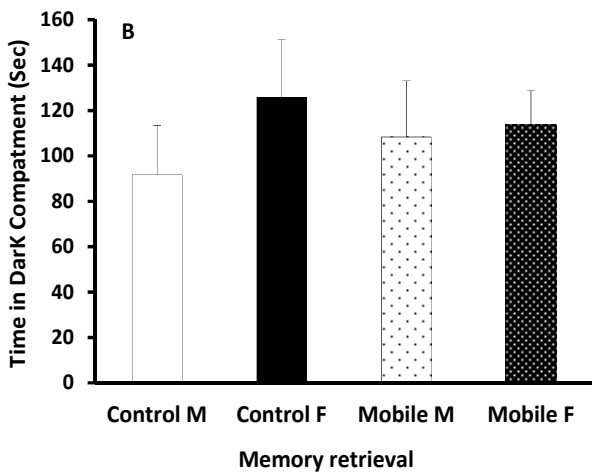
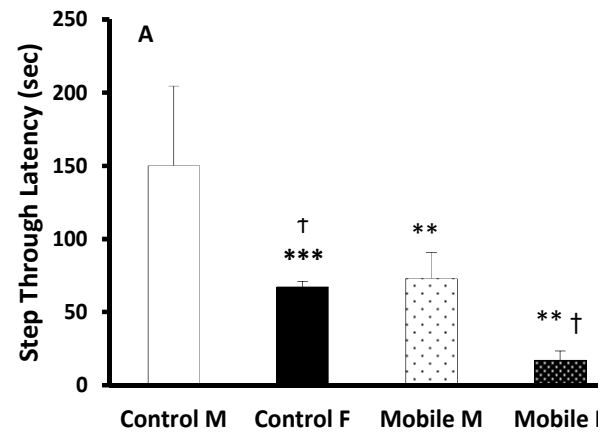
ماز آبی موریس: برای بررسی حافظه فضایی ماز آبی موریس حوضچه دایره‌ای شکل تیره رنگی به قطر ۱۶۰ و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر بود که تا ارتفاع ۳۵ سانتیمتر با آب با دمای 25 ± 2 پر می‌شد. این حوضچه به لحاظ جغرافیایی به ۴ ربع دایره مساوی شمال، جنوب، غرب و شرق تقسیم می‌شد و در هر ربع دایره یک نقطه برای رها کردن حیوان در آب در نظر گرفته شد. یک سکو به قطر ۱۰ سانتیمتر در مرکز ربع دایره چهار، ۱/۵ سانتیمتر در زیر سطح آب و بصورت غیر قابل رویت قرار گرفت. بر روی دیوارهای اتاق در اطراف ماز سرنخهای فضایی که اشکال هندسی متفاوت هستند، نصب شد. عملکرد حیوان از طریق یک دوربین مدار بسته که متصل به سقف بالای ماز است به کامپیوتر و نرم افزار مربوطه منتقل شده تا پارامترهای لازم از جمله زمان و مسافت طی شده تا یافتن

سکو و همچنین سرعت حرکت حیوان ثبت شود. در این مطالعه، آزمایش رفتاری در چهار روز انجام شد. در ابتدا یادگیری فضایی حیوانات بررسی شد به گونه‌ای که ۳ بلوک در سه روز متوالی انجام شد که هر بلوک خود شامل ۴ تریال^۴ است. در هر تریال حیوان از یکی از ربع دایره های ۴ گانه که دستگاه بطور تصادفی انتخاب می‌کند به داخل آب رها شده (طوری که سر حیوان به سمت دیوار ماز قرار دارد) و حداکثر ۶۰ ثانیه فرصت داده می‌شد تا با استفاده از سرنخ‌های فضایی اطراف، سکوی پنهان در زیر سطح آب را پیدا کند، اگر حیوان در مدت این ۶۰ ثانیه موفق به پیدا کردن سکو نمی‌شد، محقق آن را با دست به سمت سکو هدایت می‌کرد. در هر صورت حیوان پس از قرار گرفتن بر روی سکو ۳۰ تا ۳۵ ثانیه بر روی آن استراحت نموده و سپس ۳۰ تا ۳۵ ثانیه هم در داخل قفس و زیر لامپ استراحت می‌کرد. تریالهای بعدی نیز به همین صورت و با رها کردن حیوان از سایر ربع دایره‌ها انجام می‌شد. در هر بلوک حیوان از ۴ ربع دایره مختلف به داخل آب رها می‌شد. مدت زمان سپری شده^۵ و مسافت پیموده شده تا یافتن سکوی پنهان در این سه بلوک به عنوان معیاری از یادگیری فضایی حیوان محسوب می‌شد. نهایتاً در روز چهارم (۲۴ ساعت پس از آخرین مرحله اکتساب)، آزمون پروب^۶ به منظور بررسی حافظه فضایی حیوانات انجام گرفت. این آزمون شامل یک تریال منفرد است که در آن سکوی پنهان از داخل ماز برداشته شده و حیوان از ربع مخالف ربع دایره هدف به داخل آب رها شده و به مدت ۶۰ ثانیه آزادانه در آب شنا می‌کند. لذا متغیرهای مورد بررسی در این آزمون مدت زمان حضور و مسافت پیموده شده در ربع دایره ای^۷ بود که قبلاً سکو در آن واقع شده بود [۱۲، ۱۵، ۲۰].

داده‌های بدست آمده از این تحقیق در ابتدا با استفاده از آزمون K.S.^۸ در نرم افزار SPSS.17 نرمالیتی آنها بررسی شد و سپس جهت مقایسه متغیرهای کمی بین گروهها از آزمون ANOVA، برای بررسی اختلاف جنسی از آزمون T غیر

4. trial
5. Escape latency
6. Probe test
7. Target quadrant
8. koromogoph Smirnoph

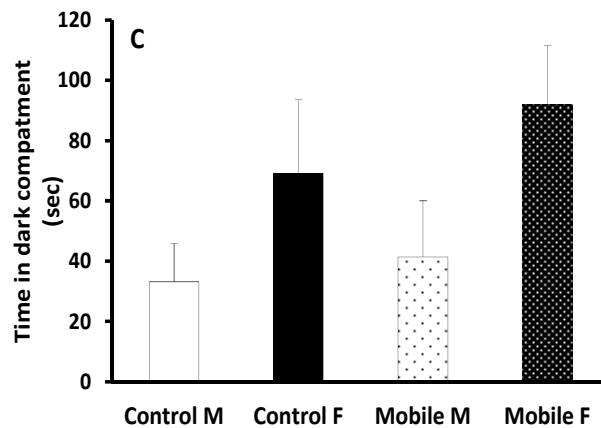
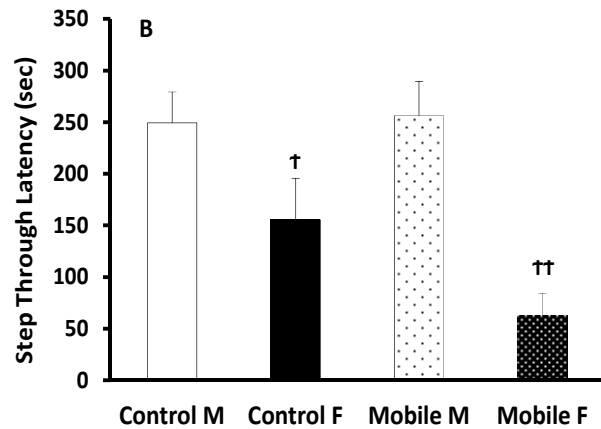
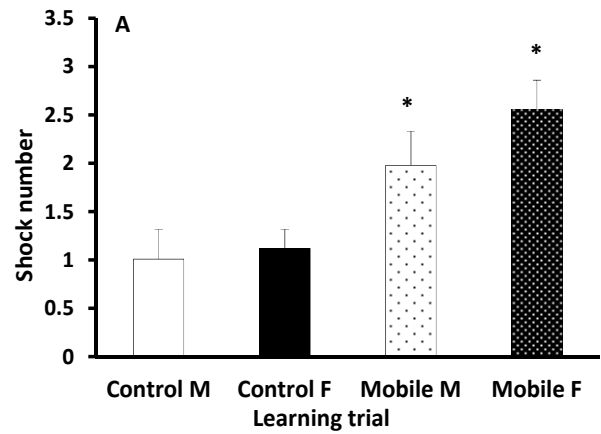
1. Step through latency
2. Crossing Number
3. Time in Dark Compartment



شکل ۳

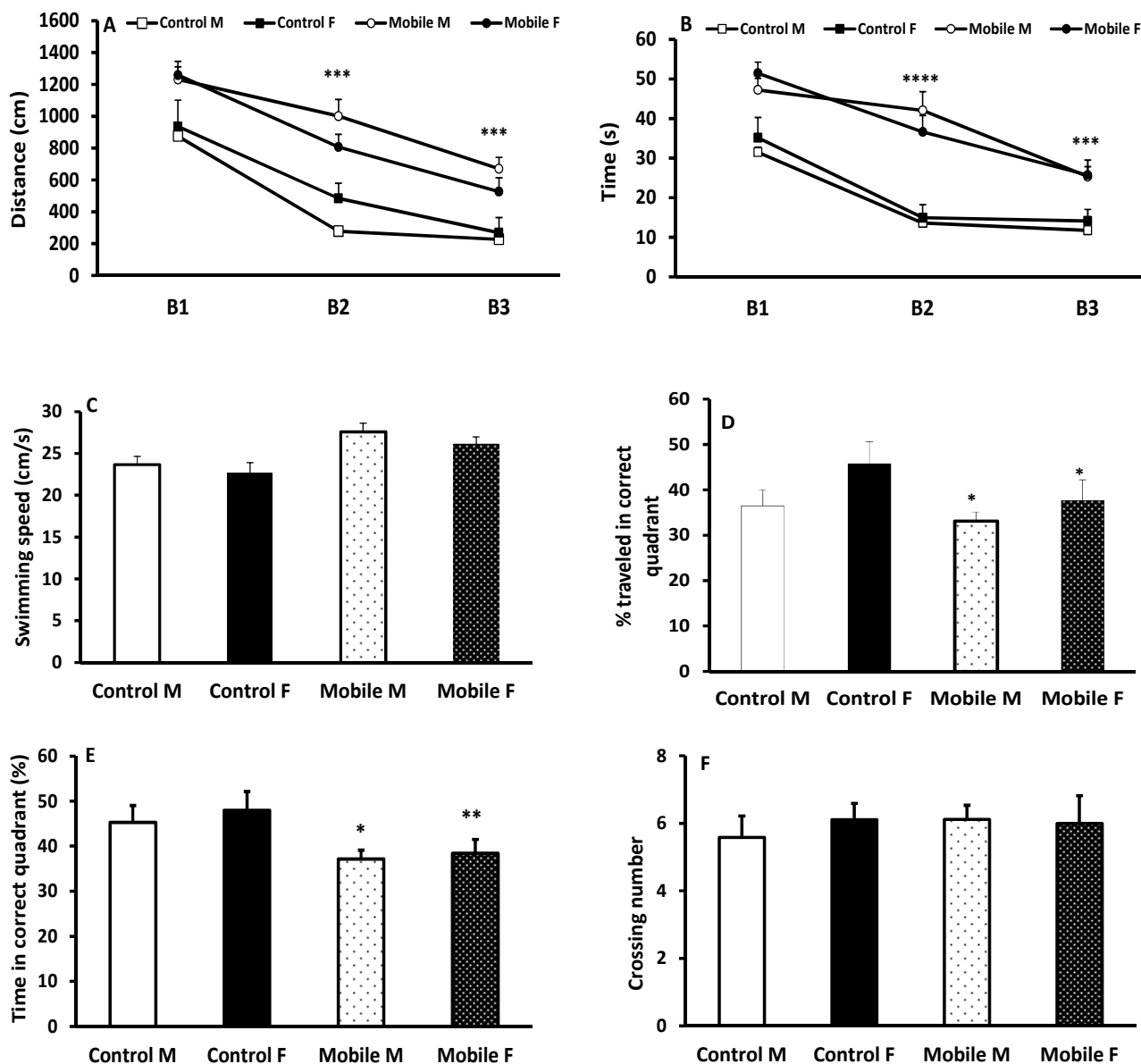
یافته ها

ارزیابی اثرات امواج موبایل در روز دوم: در بررسی نتایج تأثیر امواج موبایل بر روند اکتساب و بخاطرآوری، در تعداد دفعات لازم برای آموزش و یادگیری (اکتساب)، افزایش معنی داری ($F_{(3,36)} = 6.089, P < 0.05$) در گروه های نر و ماده تحت تأثیر امواج موبایل نسبت به گروه کنترل مشاهده شد (شکل ۲A). مقایسه اولین زمان ورود به منطقه تاریک (STL) در آزمون به خاطر آوری حافظه، گروه ماده کنترل نسبت به گروه نر کنترل کاهش معنی داری ($P < 0.05$) و گروه ماده تحت تأثیر امواج موبایل نسبت به گروه نر تحت تأثیر امواج موبایل کاهش معنی داری ($P < 0.01$) نشان داد. (شکل ۲B) حالیکه در تعداد دفعات ورود به اتاق تاریک (CN) (داده‌ها نشان داده نشده است)، و مدت زمان ماندن در اتاق تاریک (TDC) یک روز پس از یادگیری تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل



شکل ۲

زوجی و جهت بررسی روند یادگیری در بلوکهای متفاوت در چهار گروه از آزمون Repeated Measure Anova استفاده شد. در صورت معنی دار شدن از آزمون Post Hoc TUKEY استفاده شد. در صورت عدم رعایت مفروضات از معادل نان پارامتریک kruskal - wallis استفاده شد و رسم نمودارها با استفاده از برنامه EXCEL انجام شد. داده‌ها به صورت Mean ± SE نشان داده شد.



شکل ۴

زمان ماندن در اتاق تاریک (شکل ۳B) در روز هفتم پس از یادگیری، در بین گروه‌ها تفاوت معنی داری مشاهده نشد. ارزیابی تأثیر امواج موبایل بر یادگیری و حافظه فضایی، نتایج در قالب دو فاکتور مورد بررسی قرار گرفت. (۱) روند یادگیری گروه‌های مختلف و (۲) مرحله فراخوانی حافظه فضایی

بررسی روند یادگیری گروه‌های مختلف: در بررسی روند یادگیری، نتایج حاصل از آزمایشات ماز آبی موریس در گروه‌های کنترل و گروه‌های تحت تأثیر امواج موبایل، از نظر مدت زمان سپری شده و مسافت پیموده شده تا یافتن سکوی هدف مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی روند یادگیری آزمون

(۲C)

ارزیابی اثرات امواج موبایل در روز هفتم: در

بررسی اثر امواج موبایل بر روند اکتساب و بخاطرآوری در حیوانات ماده و نر در روز هفتم پس از یادگیری، نتایج در پارامتر STL (شکل ۳A)، کاهش معنی داری را در گروه نر و ماده تحت تأثیر امواج موبایل نسبت به گروه کنترل نشان داد ($F_{(3,36)} = 8.45, P < 0.01$) در مقایسه گروه‌های ماده و نر، گروه ماده تحت تأثیر امواج موبایل کاهش معنی داری را نسبت به گروه نر تحت تأثیر امواج و گروه ماده کنترل، کاهش معنی داری ($P < 0.05$) را نسبت به گروه نر کنترل نشان دادند (شکل ۳A). در تعداد دفعات ورود و مدت

۱۸، ۲۵]. در این مطالعه تأثیر امواج موبایل در دوره جنینی بر روند حافظه و یادگیری احترازی غیرفعال در انتهای هفته چهارم پس از تولد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در روند یادگیری (تعداد دفعات لازم برای آموزش و یادگیری) تأثیر امواج موبایل در دو جنس نر و ماده، باعث افزایش تعداد دفعات ورود به اتاق تاریک شد و موش‌های گروه موبایل در هر دو جنس تعداد شوک بیشتری جهت یادگیری دریافت کردند. به نظر می‌رسد مواجهه با امواج موبایل در زمان جنینی می‌تواند باعث اختلال در یادگیری مربوط به ساختمانهای حافظه‌ای چون آمیگدال و هیپوکمپ شود. برخلاف نتایج بدست آمده از ماز آبی موريس و فعالیتهای رفتاری که اختلاف جنسی مشخصی را نشان نداد اما در یادگیری احترازی غیر فعال اندک اختلافات جنسی مشاهده شد به نظر می‌رسد احتمالاً عوامل محیطی و آزمایشگاهی و شاید استرس‌های ناشی از شوک در این آزمون بر روی نتایج بدست آمده بی تأثیر نباشد به گونه ای که در برخی مطالعات قبلی نشان داده شده است که استرس و شرایط آزمایشگاهی می‌تواند در نتایج مطالعات، بروز اختلافات جنسی را نشان دهد. در موافقت با یافته‌های ما، مشخص شده است که جنس ماده نسبت به حوادث استرس زا و محرکات آزمایشگاهی و محیطی حساس تر است [۳]. بنابراین نتیجه گیری در این مورد که یافته‌ها با اختلافات جنسی می‌تواند مرتبط باشد تا حدی مشکل است، به هر حال این مسئله می‌تواند مطرح شود که این اختلافات ممکن است مرتبط باشد با اختلافاتی که در مورفولوژی، سازماندهی و عملکرد مغز در دو جنس نر و ماده وجود دارد. شواهد زیادی مبنی بر حضور اختلافات جنسی در ساختمان مغز، سیستم نوروترانسمیتری و تنظیم نورواندوکرینی وجود دارد [۱، ۱۱]. بر اساس یک گزارش، قرار گرفتن موش‌های صحرایی در معرض میدان‌های مغناطیسی می‌تواند باعث بروز فراموشی قبلی (Retrograde Amnesia) در یادگیری اجتنابی غیر فعال شود [۹] در حالیکه گزارش دیگری مبنی بر عدم تأثیر میدان‌های الکترومغناطیسی (فرکانس ۵۰ هرتز) در حافظه وجود دارد [۲۱]. جهت تأیید نتایج تحقیق حاضر مطالعات بیشتری نیاز است تا بتوان مسیرهای دخیل در این مشاهدات را تعیین کرد. هنگامی که در روز دوم و هفتم پس از آموزش ما به بررسی رفتارهای حافظه ای نوزادان رتهایی که

آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد که روند یادگیری در تمام گروه‌های مورد آزمایش صورت گرفت. در مقایسه میزان مسافت طی شده، گروه‌های نر و ماده تحت تأثیر امواج موبایل نسبت به گروه‌های کنترل در بلوک‌های ۲ و ۳ افزایش معنی‌داری ($F_{(3,36)} = 8.6, P < 0.001$) را نشان دادند (شکل ۴A). در مقایسه مدت زمان سپری شده، در گروه‌های نر و ماده تحت تأثیر امواج موبایل در بلوک ۲ ($F_{(3,36)} = 11.2, P < 0.0001$) و در بلوک ۳ ($F_{(3,36)} = 9.01, P < 0.001$) نسبت به گروه‌های کنترل افزایش معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۴B).

آزمون فراخوانی حافظه^۱: در بررسی تأثیر امواج موبایل بر میزان حافظه فضایی، در مطالعه حاضر پارامترهای درصد مسافت پیموده شده در ربع دایره هدف، درصد زمانی حضور در ربع دایره هدف، تعداد دفعات ورود به ربع دایره هدف و همچنین سرعت شنا بین گروه‌های مورد آزمایش مقایسه شد. در ارزیابی مقایسه سرعت شنا کردن بین گروه‌های مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴C). نتایج حاصل از مقایسه گروه حیوانات نر و ماده تحت تأثیر امواج موبایل برای یافتن سکو کاهش معنی‌داری در ارزیابی درصد مسافت پیموده شده (شکل ۴D) در ربع دایره هدف نسبت به گروه کنترل مشاهده شد ($F_{(3,36)} = 4.61, P < 0.05$). نتایج بررسی و مقایسه درصد زمانی حضور در ربع دایره هدف بین هر دو گروه نر و ماده تحت تأثیر امواج موبایل به ترتیب حاکی از کاهش معنی‌داری ($F_{(3,36)} = 5.9, P < 0.05$) و ($F_{(3,36)} = 7.13, P < 0.01$) نسبت به گروه‌های کنترل است (شکل ۴E). در ارزیابی حاضر، مقایسه تعداد دفعات ورود به ربع دایره هدف نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های تحت تأثیر امواج موبایل نسبت به گروه‌های کنترل وجود نداشت (شکل ۴F).

بحث

تناقضات فراوانی در زمینه اثرات تشعشعات امواج رادیویی بر بافتهای مغز و رفتارهای مرتبط با این ساختارها وجود دارد [۷،

در زمان جنینی تحت تأثیر این امواج قرار گرفته بودند پرداختیم نتایج حاصل نشان داد که این امواج می‌تواند در حافظه هر دو جنس نر و ماده اختلال ایجاد کند. در ارزیابی نتایج اولین زمان ورود به اتاق تاریک (به خاطر آوری حافظه)، به عنوان مهم‌ترین فاکتور در بررسی حافظه در آزمون یادگیری احترازی غیر فعال، کاهش معنی داری را در گروه ماده کنترل و تحت تأثیر امواج موبایل در روز دوم و هفتم پس از یادگیری و کاهش معنی داری را در گروه نر و ماده تحت تأثیر امواج موبایل نسبت به گروه کنترل در روز هفتم نشان داد. در مدت زمان ماندن در اتاق تاریک (TDC) در روز بعد و هفتم پس از یادگیری بین گروه‌ها تفاوت معنی داری وجود نداشت.

در بررسی تأثیرات امواج موبایل بر روند یادگیری و حافظه فضایی در آزمون ماز آبی موريس نتایج حاصل باز نشان داد که مواجهه با امواج موبایل در زمان جنینی قادر است در روند یادگیری و حافظه فضایی نوزادان رت‌ها در هر دو جنس نر و ماده تغییرات قابل توجهی ایجاد کند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که حیوانات گروه‌های نر و ماده تحت تأثیر امواج موبایل در آزمون ماز آبی موريس در پارامتر مسافت و مدت زمان سپری شده برای یافتن سکوی هدف در بلوک ۲ و ۳ تفاوت معنی داری دارند، در حالیکه در هیچ یک از گروه‌ها در بلوک ۱ اختلاف معنی داری مشاهده نشد. این امر حاکی از این است که در ابتدای آزمون حیوانات در شرایط یکسانی قرار داشتند اما گروه‌های تحت تأثیر امواج موبایل نسبت به گروه کنترل از توانایی یادگیری کمتری برخوردار هستند هر چند که نتایج حاصل نشان می‌دهد که در تمام گروه‌های تحت مطالعه روند یادگیری اتفاق افتاده است. در ارزیابی پارامتر سرعت شنا تا یافتن سکوی هدف بین گروه‌های تحت تأثیر امواج موبایل و کنترل اختلاف معنی داری مشاهده نشد. عدم تغییر سرعت حرکت در این آزمون و همچنین عدم تفاوت در آزمون سکوی آشکار (داده‌ها نشان داده نشده است) می‌تواند تأیید کننده این مطلب باشد که مشکلات یادگیری و حافظه ای مشاهده شده در آزمون ماز آبی موريس ناشی از مشکلات حرکتی نیست و مستقیماً این تأثیرات در ارتباط با تغییرات احتمالی ایجاد شده در سیستم‌های درگیر در یادگیری و حافظه از جمله هیپوکمپ، آمیگدال و سیستم‌های پاراهیبوکمپال می‌باشد که جهت دستیابی و تأیید نهایی به تحقیقات بیشتری از جمله بافت

شناسی و الکتروفیزیولوژی نیاز دارد. در بررسی حاضر در آزمون ماز آبی موريس در هفته چهارم پس از تولد حیوانات نر و ماده تحت تأثیر امواج موبایل در مقایسه با گروه‌های کنترل در پارامترهای مسافت پیموده شده در ربع دایره هدف و درصد زمان حضور در ربع هدف کاهش معنی داری را نشان دادند و در ارزیابی پارامتر تعداد دفعات ورود به ربع دایره هدف در حیوانات نر و ماده دریافت کننده امواج موبایل نسبت به گروه کنترل اختلاف معنی داری مشاهده نشد. مطالعات Kumar و همکارانش (۲۰۰۹)، نشان داد گروهی از رت‌های بالغی که در معرض امواج موبایل بودند زمان بیشتری را جهت یافتن سکوی پنهان گذراندند و همچنین زمان رسیدن به ربع هدف برای این گروه طولانی‌تر و مدت زمان ماندن در ربع هدف کوتاه‌تر بود [۱۶]. و این نتیجه با یافته‌های ما کاملاً هم‌خوانی دارد. هیپوکمپ نقش مهمی در ایجاد حافظه فضایی ایفا می‌کند، به طور فیزیکی وقتی حیوان در جایگاه‌های فضایی قرار می‌گیرد افزایش تحریک پذیری سلول‌های هیپوکمپ، حافظه فضایی را درگیر می‌کند [۲۲، ۲۴]. هیپوکمپ عملکرد فضایی بین اجزای محل وقوع یا زمینه را کد می‌کند و در صورت آسیب، هیپوکمپ نمی‌تواند از پیکر بندی اجزایی و مکانی که در حافظه مهم هستند استفاده کند [۱۰]. تابش‌های الکترومغناطیسی امواج موبایل مشخص شده است که قادرند منجر به آسیب‌های عصبی در قشر مخ، هیپوکمپ و گانگلیای بازال [۱۸]، در موش شوند، و آپوپتوز را از طریق یک مسیر میتوکندریایی مستقل از کاسپاز در محیط کشت کورتکس عصبی ایجاد کنند و این آپوپتوز بوسیله فاکتور AIF ایجاد می‌شود [۸]. به طور کلی، نتایج ما نشان می‌دهد که قرار گرفتن در معرض امواج تلفن همراه باعث ایجاد تغییراتی در موش‌ها می‌شود که این تغییرات به صورت افزایش مدت زمان رسیدن به ربع هدف و کاهش زمان ماندن در ربع هدف در آزمون ماز آبی موريس دیده می‌شود. این یافته‌ها می‌تواند با اثر امواج میکروویو، تلفن همراه، ویرایش و یا هر دوی آنها با هم ایجاد شود و برای اینکه مشخص شود کدام یک از این موارد مهم‌تر است نیاز به مطالعات بیشتری است.

نتایج تحقیق حاضر در مجموع نشان داد که تابش‌های الکترومغناطیسی امواج موبایل می‌تواند در هر دو گروه نر و ماده از موش‌های صحرایی باعث کاهش حافظه احترازی غیر فعال و

سپاسگزاری

در طی انجام این مطالعه مشکل مهمی از نظر پژوهشی وجود نداشت. پس از اخذ مجوز کمیته اخلاق (EC/KNRC/88-34) از دانشگاه علوم پزشکی کرمان، همکاری‌های لازم از طرف مسئولین معاونت پژوهشی و مرکز تحقیقات علوم اعصاب انجام شد که بدین وسیله نویسندگان کمال تشکر و قدردانی را از این عزیزان دارند.

حافظه فضایی شود اما تفاوت قابل توجهی بین دو جنس نر و ماده در مواجهه جنینی با امواج موبایل مشاهده نگردید. بنابراین نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مواجهه با امواج موبایل در طی دوران جنینی که دوره خاصی از رشد سیستم عصبی می‌باشد در هر دو جنس یکسان عمل می‌کند و باعث اختلال در حافظه، و آسیب به رفتارهای شناختی مربوط به هیپوکامپ در موش‌های صحرایی نر و ماده می‌شود.

References

- [1] Allen JS, Damasio H, Grabowski TJ, Bruss J, and Zhang W, Sexual dimorphism and asymmetries in the gray-white composition of the human cerebrum. *Neuroimage* 18 (2003) 880-894.
- [2] Bardasano J, Meyer A, and Picazo L, Pineal cells with multipolar spindles in chicken embryos exposed to magnetic fields-First trials. *Jahrbuch für Morphologie und mikroskopische Anatomie 2 Abteilung, Zeitschrift Für Mikroskopisch-Anatomische Forschung* 100 (1986) 85-92.
- [3] Barnett RC, Biener LE, and Baruch GK, *Gender and Stress*. 1th ed, New York. Free Press (1987) 386-390.
- [4] Ceconi S, Gualtieri G, Di Bartolomeo A, Troiani G, Cifone MG, and Canipari R, Evaluation of the effects of extremely low frequency electromagnetic fields on mammalian follicle development. *Hum Reprod* 15 (2000) 2319-2325.
- [5] Daniels WMU, Pitout IL, Afullo TJO, and Mabandla MV, The effect of electromagnetic radiation in the mobile phone range on the behaviour of the rat. *Metab Brain Dis* 24 (2009) 629-641.
- [6] Ericson A, and Källén B, An epidemiological study of work with video screens and pregnancy outcome: II. A case-control study. *Am J Ind Med* 9 (1986) 459-475.
- [7] Hao D, Yang L, Chen S, Tong J, Tian Y, Su B, Wu S, Zeng Y, Effects of long-term electromagnetic field exposure on spatial learning and memory in rats. *Neurol Sci* (2012) [Epub ahead of print].
- [8] Joubert V, Bourthoumieu S, Leveque P, and Yardin C, Apoptosis is induced by radiofrequency fields through the caspase-independent mitochondrial pathway in cortical neurons. *Radiat Res* 169 (2008) 38-45.
- [9] Krylova I, Dukhanin A, Kuznetsova EI, Balaeva N, Shimanovski N, Pal'tsev IP, and Iasnetsov V, The effect of ultrahigh-frequency electromagnetic radiation on learning and memory processes. *Biull Eksp Biol Med* 114 (1992) 483-484.
- [10] Lee I, and Solivan F, The roles of the medial prefrontal cortex and hippocampus in a spatial paired-association task. *Learn Mem* 15 (2008) 357-367.
- [11] Madeira MD, Lieberman AR, Sexual dimorphism in the mammalian limbic system. *Prog Neurobiol* 45 (1995) 275-333.
- [12] Mereu G, Fà M, Ferraro L, Cagiano R, Antonelli T, Tattoli M, Ghiglieri V, Tanganelli S, Gessa GL, and Cuomo V, Prenatal exposure to a cannabinoid agonist produces memory deficits linked to dysfunction in hippocampal long-term potentiation and glutamate release. *Proc Natl Acad Sci USA* 100 (2003) 4915-4920.
- [13] Miller RP, Tadagavadi RK, Ramesh G, and Reeves WB, Mechanisms of cisplatin nephrotoxicity. *Toxins* 2 (2010) 2490-2518.
- [14] Mortazavi SMJ, Nazer M, and Sayadi A, The effect of microwave radiation emitted by mobile phones on human short term memory. *Journal Of Rafsanjan University Of Medical Sciences And Health Services* 7 (2009) 251-258.
- [15] Müller RA, Courchesne E, and Allen G, The cerebellum: so much more. *Science* 282 (1998) 879-880.
- [16] Narayanan SN, Kumar RS, Potu BK, Nayak S, and Mailankot M. Spatial memory performance of wistar rats exposed to mobile phone. *Clinics* 64 (2009) 231-234.
- [17] Papageorgiou CC, Nanou ED, Tsiafakis VG, Kapareliotis E, Kontoangelos KA, Capsalis CN,

- Rabavilas AD, and Soldatos CR, Acute mobile phone effects on pre-attentive operation. *Neurosci lett* 397 (2006) 99-103.
- [18] Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, and Persson BRR, Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environ Health Perspec* 111 (2003) 881-882.
- [19] Shabani M, Haghani M, Sheibani V, and Janahmadi M, Changes in motor and learning behaviors of rats prenatally exposed to WIN 55212-2, a cannabinoid receptor agonist. *Physiol Pharmacol* 13 (2009) 120-129.
- [20] Shojaei A, Shabani M, Pilevarian A, Parsania S, and Razavinasab M, Effect of Acute administration of Cisplatin on memory, motor learning, balance and explorative behaviours in rats. *Physiol Pharmacol* 16 (2012) 121-135.
- [21] Sienkiewicz ZJ, Bartram R, Haylock RGE, and Saunders RD, Single, brief exposure to a 50 Hz magnetic field does not affect the performance of an object recognition task in adult mice. *Bioelectromagnetics* 22 (2001) 19-26.
- [22] Talpos J, Dias R, Bussey T, and Saksida L, Hippocampal lesions in rats impair learning and memory for locations on a touch-sensitive computer screen: The. *Behav Brain Res* 192 (2008) 216-225.
- [23] Van Der Stelt M, Mazzola C, Esposito G, Matias I, Petrosino S, Filippis DD, Micale V, Steardo L, Drago F, and Iuvone T, Endocannabinoids and β -amyloid-induced neurotoxicity in vivo: effect of pharmacological elevation of endocannabinoid levels. *Cell Mol Life Sci* 63 (2006) 1410-1424.
- [24] Wisman LAB, Sahin G, Maingay M, Leanza G, and Kirik D, Functional convergence of dopaminergic and cholinergic input is critical for hippocampus-dependent working memory. *J Neurosci* 28 (2008) 7797-7807.
- [25] Yamaguchi H, Tsurita G, Ueno S, Watanabe S, Wake K, Taki M, Nagawa H, 1439 MHz pulsed TDMA fields affect performance of rats in a T-maze task only when body temperature is elevated. *Bioelectromagnetic* 24 (2003) 223-30.
- [26] Yu MC, Gona AG, Gona O, Al-Rabiai S, Von Hagen S, and Cohen E, Effects of 60 Hz electric and magnetic fields on maturation of the rat neopallium. *Bioelectromagnetics* 14 (1993) 449-458.