

The Effect of Low Frequency Electromagnetic Fields on Anxiety Behaviors and Histomorphometry of Inner Pyramidal Layer Neurons of Frontal Cortex in Adult Male Rat

Mehdi Nazari*, Mahmood Mofid, Homayon Sadraee, Gholamreza Kaka

Department of Anatomy, Neuroscience Center, Faculty of Medicine, Baqiyatallah University of Medical Science, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Low frequency electromagnetic waves have frequencies in the range of 300 KHz to 300 GHz and they are widely available in the environment. The biological effects of these waves are not fully understood on the human body and nervous system. The effects of low frequency electromagnetic waves on behavioural changes as well as the changes in the inner pyramidal neurons of the frontal lobe brain of the adult Wistar male rat were investigated in the present study.

Methods and Materials: In this experimental study, 20 rats were randomly divided into four groups. The first group was designated as the control group; moreover, experimental groups received 900, 1800 and 2450 MHz waves with the intensities of 2, 1 and 20 watts per kilogram, during one month and for 4 hours per day respectively. Elevated plus-maze test has been used in Behavioural tests. In addition, Golgi cox staining has been used in a hystermorphometric test including the number of branches and dendritic spines of the inner pyramidal neurons of the frontal lobe.

Results: In experimental groups, electromagnetic waves significantly reduced the number of entry and time spent in rats in the open arms of the Elevated plus-maze test compared to the control group ($P<0.05$). The results of historomorphometric study also indicated a significant reduction in the number of dendritic spines and branches of the inner pyramidal neurons of the frontal lobe of the rat brain in experimental groups compared to the control group ($P<0.05$).

Discussion and Conclusion: Low-frequency electromagnetic radiation caused behavioural changes and it increased the anxiety in rats. Furthermore, it caused damage to the inner pyramidal layer neurons of the frontal cortex in experimental groups.

Keywords: GTEM cell device, Elevated plus-maze test, Frontal cortex, Histomorphometry

*(Corresponding Author) Mehdi Nazari, Department of Anatomy, Neuroscience Center, Faculty of Medicine, Baqiyatallah University of Medical Science, Tehran, Iran. E-mail: nazarimahdi90@gmail.com

اثر امواج الکترومغناطیسی فرکانس پایین بر رفتارهای اضطرابی و هیستومورفومتری نورون‌های لایه هر می داخلی قشر لوب پیشانی مغز در موش صحرایی نر بالغ

مهدی نظری*، محمود مفید، سیدهمایون صدرایی، غلام رضا کاکا

گروه علوم تشریح، مرکز علوم اعصاب، دانشکده پزشکی، دانشگاه بقیه الله، تهران، ایران

چکیده

مقدمه: امواج الکترومغناطیسی فرکانس پایین فرکانس‌هایی در محدوده ۳۰۰ KHz تا ۳۰۰ GHz را در بر می‌گیرند و در محیط پیرامون زندگی به صورت گسترده وجود دارند. اثرات بیولوژیک این امواج بر بدن انسان و سیستم عصبی به طور کامل شناخته نشده است. در این تحقیق اثرات امواج الکترومغناطیسی فرکانس پایین بر تغییرات رفتاری و همچنین تغییرات نورون‌های لایه هر می داخلی قشر لوب پیشانی مغز موش صحرایی نر بالغ نژاد ویستار مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی، ۲۰ سر موش صحرایی به صورت تصادفی به چهار گروه تقسیم شدند که عبارتند از: گروه اول کنترل، گروه دوم امواج ۹۰۰ MHz، گروه سوم امواج ۱۸۰۰ MHz و گروه چهارم امواج ۲۴۵۰ MHz، به ترتیب با شدت ۲، ۱ و ۲۰ وات بر کیلوگرم، به مدت یک ماه و روزه ۴ ساعت دریافت کردند. در بررسی‌های رفتاری از آزمون ماز مرتفع و در بررسی هیستومورفومتری شامل تعداد انشعابات و خارهای دندریتی نورون‌های لایه هر می داخلی قشر لوب پیشانی از رنگ آمیزی گلژی کاکس استفاده شد.

یافته‌ها: امواج الکترومغناطیسی در گروه‌های تجربی باعث کاهش معنی‌دار تعداد ورود و زمان سپری شده موش‌های صحرایی در بازوهای باز آزمون ماز مرتفع در مقایسه با گروه کنترل شد ($P < 0/05$). همچنین نتایج بررسی هیستومورفومتری کاهش معنی‌دار تعداد انشعابات و خارهای دندریتی نورون‌های لایه هر می داخلی قشر لوب پیشانی مغز موش‌های صحرایی در گروه‌های تجربی در مقایسه با گروه کنترل را نشان داد ($P < 0/05$).

بحث و نتیجه‌گیری: تابش امواج الکترومغناطیسی فرکانس پایین باعث تغییرات رفتاری و افزایش اضطراب در موش‌های صحرایی و همچنین آسیب نورون‌های لایه هر می داخلی قشر پیشانی در گروه‌های تجربی شد.

کلمات کلیدی: دستگاه GTEM cell، آزمون ماز مرتفع، قشر پیشانی، هیستومورفومتری

مقدمه

این میدان‌ها بر فرآیندهای زیستی و متابولیسم بدن و سازوکارهای سلولی و مولکولی موجودات زنده معطوف می‌باشد (۱). تأثیرات مخرب احتمالی مواجهه با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی از زمانی که اولین گزارش در سال ۱۹۷۹ توسط Whertteimer و Leeper به رابطه میدان‌های الکترومغناطیسی و سرطان در کودکان پرداخت، توجه مردم و محافل علمی را به خود جلب کرد (۲).

در سال‌های اخیر دستیابی به فناوری نوین، بشر را قادر ساخته است تا طیف‌ها و شدت‌های متفاوتی از میدان‌های الکترومغناطیسی ایجاد نموده و از آن برای افزایش کیفیت زندگی، خدمات ارتباطی و مخابراتی، خدمات پزشکی و بهداشتی بهره جوید. در کنار این مزایا نگرانی‌هایی نیز در جامعه علمی وجود دارد که به تأثیرگذاری احتمالی

در صورت بروز تغییرات دژنراتیو در نوروهای بزرگ هرمی در اثر قرارگیری در معرض امواج الکترومغناطیسی می توان استنباط نمود که تغییرات هیستولوژیکی نوروها را در دیگر قسمت های بافت مغزی نیز شاهد خواهیم بود. لذا هدف از مطالعه کنونی بررسی اثرات هم زمان رفتاری و هیستوپاتولوژیک امواج الکترومغناطیسی فرکانس پایین بر روی این ناحیه از مغز می باشد.

مواد و روش ها

تعداد ۲۰ سر موش صحرایی نر بالغ نژاد ویستار در محدوده وزنی ۱۷۰-۲۲۰ گرم در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. در راستای انجام این تحقیق کلیه اصول اخلاقی در مورد نحوه کار با حیوانات آزمایشگاهی مد نظر قرار گرفته است. موش های صحرایی در اتاق پرورش حیوانات در قفس های مخصوص نگهداری شدند و غذا و آب حیوانات در قفس تامین گردید. نگهداری حیوانات در دمای ۲۲±۲ درجه سانتیگراد انجام گرفت. همچنین حیوانات ۱۲ ساعت در تاریکی و ۱۲ ساعت در روشنایی قرار گرفتند. به مدت ۱۴ روز به حیوانات فرصت داده شد تا با محیط سازگاری پیدا کنند.

شبیه سازی امواج الکترومغناطیسی

حیوانات به صورت تصادفی به چهارگروه تقسیم شدند و در هر گروه تعداد ۵ سر موش صحرایی قرار داده شد. حیوانات در اتاق آنتن که دارای پوشش محافظتی سیگنال ها به منظور جلوگیری از خروج امواج شوک الکترومغناطیسی طراحی شده تحت بررسی قرار گرفتند. سه گروه موش صحرایی تجربی به صورت مجزا به ترتیب در معرض امواج با فرکانس (تجربی ۱) ۹۰۰ MHz، (تجربی ۲) ۱۸۰۰ MHz، (تجربی ۳) ۲۴۵۰ MHz و به ترتیب با توان ۲، ۱ و ۲۰ وات بر کیلوگرم قرار داده شدند. حیوانات به مدت یک ماه روزانه ۴ ساعت درون اتاق آنتن در معرض تابش امواج با فرکانس های فوق قرار گرفتند. (شکل ۱) گروه کنترل با شرایط فوق در حالی که دستگاه تولید امواج خاموش است درون اتاق آنتن قرار داده شد.

آزمون ماز مرتفع

این آزمون برای ارزیابی رفتارهای مرتبط با اضطراب در مدل های جانوری با اختلال های سیستم عصبی - مرکزی استفاده می شود.

در مطالعات بعدی Pedersen و همکاران مطالعه کوهورتی را بر روی ۳۲۰۰۶ نفر که در معرض امواج الکترومغناطیسی در محیط کارشان از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۰ قرار داشتند انجام دادند، نتایج نشان داد که مواجهه طولانی مدت با امواج الکترومغناطیسی ریسک وخطر بیماری هایی از جمله: دمانس یا زوال عقل، بیماری های مربوط به نورو حرکتی، موتیل اسکلروز، صرع و پارکینسون را افزایش می دهد (۳). همچنین مشخص شده که مواجهه شغلی با همین میدان ها، خطر بیماری های قلبی و عروقی را افزایش می دهد (۴). از جمله این تغییرات می توان به کاهش سلول های هرمی شکل ناحیه هیپوکمپ (۵) و کاهش دندریت نوروهای هیپوکمپ، تغییر در ستنز نوروترنسمیتر در پایانه های عصبی و گانگلیا است (۶)، کاهش تراکم خارهای دندریتی نوروهای هرمی هیپوکمپ و کاهش حافظه شناختی و یادگیری که نتیجه چنین تغییراتی عملکرد نوروها را متاثر ساخته و در نهایت می تواند منجر به تغییرات عمده رفتاری و شناختی شود (۷، ۸). با وجود تعداد زیادی از مطالعات انجام پذیرفته و همچنین نتیجه های قطعی حیوانی نشان داده اند که میدان های الکترومغناطیسی با فرکانس پایین فعالیت سیستم عصبی - مرکزی و پیرامونی را تغییر مشخصی در مورد اثرات بی شمار این میدان ها وجود ندارد و همچنین بسیاری از جنبه های این اثرات ناشناخته باقی مانده است. از طرفی با توجه به گستردگی و پراکندگی روزافزون این میدان ها در محیط عمومی در دنیای امروز که بشر را در معرض محدوده های متفاوتی از این میدان ها قرار داده است بر اهمیت بررسی و مطالعه تمامی جوانب این اثرات می افزاید. مطالعات زیادی وجود دارد که بیان می دارد نوروهای حرکتی نسبت به امواج الکترومغناطیسی آسیب پذیرند. مرگ نوروها و سلول های گلیال و از دست دادن میلین در اثر قرارگیری در معرض این امواج است (۹) که باعث افزایش ریسک بیماری های حاصل از تخریب نوروها مانند آلزایمر و پارکینسون می شود (۱۰، ۱۱). نقش کارکردی مهم ناحیه حرکتی اولیه لوب پیشانی مغز به ویژه سلول های هرمی در ارتباطات حرکتی و ایجاد مسیرهای حرکتی در مقالات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است (۱۲). از آن جایی که نوروهای بزرگ لایه هرمی داخلی قشر پیشانی مغز (نوروهای هرمی) در مقایسه با نوروهای کوچک (اینتر نوروها) نسبت به کاهش اکسیژن و یا دیگر عوامل استرس زا مقاوم ترند (۱۳)، لذا

هر حیوان ۱۰ نوروں که به خوبی رنگ شدند و مورفولوژی دندریتی مشخصی داشتند انتخاب شدند. این نوروں‌ها دارای ویژگی‌های هستند که عبارتند از: ۱- به نسبت قابل تفکیک باشند و با سایر نوروں‌ها همپوشانی نداشته باشند، ۲- دندریت‌ها کاملاً مشخص و انتهای باریک شده داشته باشند. معیار انتخاب یک دندریت به عنوان دندریت کامل این است که قطر انتهای دندریت حداقل کمتر از نصف بخش ابتدایی آن باشد (۱۷). سپس از لام‌های تهیه شده توسط میکروسکوپ نوری مجهز به دوربین تصاویری در بزرگ نمایی ۴۰۰ برابر تهیه شد. تصاویر گرفته شده از نظر تعداد دندریت در نوروں‌ها، تعداد انشعابات و تعداد خارهای دندریتی در هر دندریت مورد ارزیابی قرار گرفتند. بدین صورت که ابتدا تعداد دندریت‌ها در هر نوروں شمارش و ثبت گردید، سپس تعداد مجموع انشعابات (۱۸) و همچنین خارهای دندریتی (۱۹) در همان نوروں بر تعداد دندریت‌ها تقسیم شد و میانگین تعداد انشعابات دندریتی و خارهای دندریتی در هر دندریت در یک نوروں محاسبه و ثبت شد (۲۰).

آنالیز آماری

تمامی داده‌ها به صورت $\text{Mean} \pm \text{SEM}$ بیان شدند. هم‌چنین از آنالیز واریانس یکطرفه (one-way ANOVA) و در صورت اختلاف معنی‌دار از آزمون پارامتریک Tukey جهت مقایسه استفاده گردید. جهت رسم نمودار از برنامه ۲۰۱۶ Microsoft استفاده گردید. در مورد کلیه یافته‌ها اختلاف در سطح $P < 0.05$ به عنوان سطح معنی‌دار در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

نتایج حاصل از میانگین تعداد ورود و زمان حضور در بازوی‌های باز آزمون ماز مرتفع اختلاف معنی‌داری در گروه‌های مختلف نشان داد. میانگین تعداد ورود و زمان حضور در بازوی‌های باز در گروه‌های تجربی ۱، ۲ و ۳ نسبت به گروه کنترل کاهش پیدا کرد و این کاهش معنی‌دار بود. همچنین میانگین تعداد ورود و زمان حضور در بازوهای بسته در گروه‌های تجربی افزایش پیدا کرد ولی این افزایش معنی‌دار نبود. (جدول ۱ و نمودار ۱)

نتایج حاصل از میانگین تعداد انشعابات به تعداد دندریت در لایه



شکل ۱- دستگاه مولد امواج الکترومغناطیسی

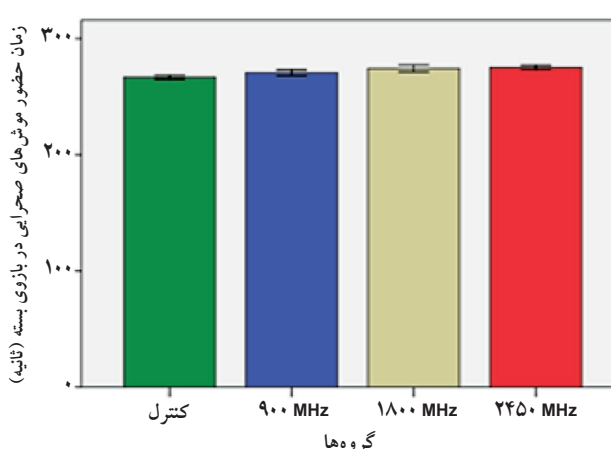
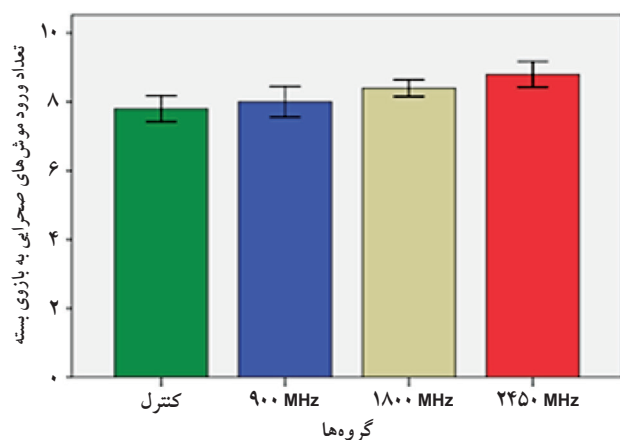
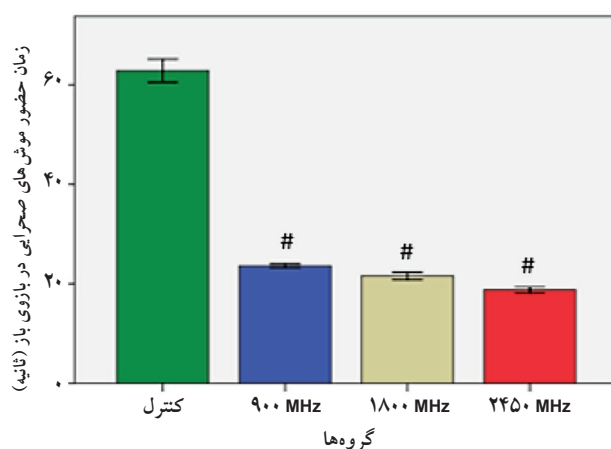
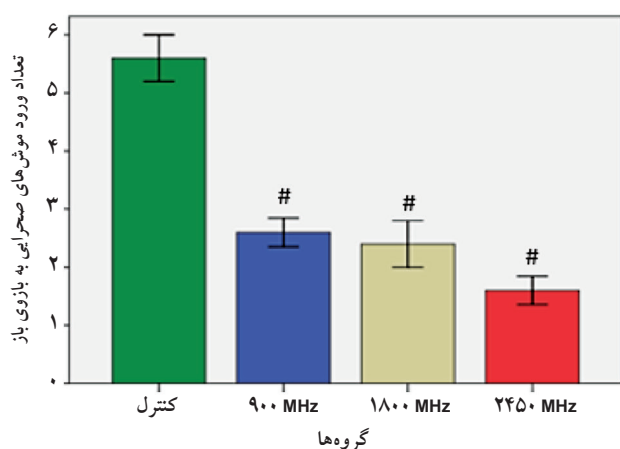
دستگاه ماز مرتفع شامل یک ماز از جنس چوب است که به صورت به علاوه می‌باشد و در ارتفاعی بالاتر از کف زمین قرار می‌گیرد. این ماز دارای چهار بازو و یک ناحیه مرکزی است که دو بازوی آن باز و دو بازوی دیگر بسته است. موش‌های صحرایی به مدت ۵ دقیقه در ماز قرار گرفتند و رفتارهای حیوان توسط یک دوربین فیلمبرداری که در بالای دستگاه نصب شده ثبت و توسط سیستم ردیابی ویدیویی آنالیز شد. در پایان آزمون، تعداد ورود و مدت زمان سپری شده در بازوهای باز و تعداد ورود و مدت زمان سپری شده در بازوی بسته اندازه‌گیری و محاسبه شد. حیوانات مضطرب ترجیح می‌دهند بیشتر در بازوی بسته بمانند و زمان کمتری را به جستجو در بازوی باز می‌پردازند (۱۴).

بررسی هیستومورفومتری

در پایان مطالعه و پس از اتمام تابش امواج الکترومغناطیسی، حیوانات توسط ماده بیهوشی کشته شدند و مغز حیوانات از داخل حفره کرانیوم خارج و با مطالعه دقیق اطلس پاکسینوس توسط برش کروئال ناحیه حرکتی لوب پیشانی مغز موش صحرایی جدا شد (۱۵). بافت جداسازی شده جهت پروسه بافت شناسی در فرمالین ۱۰ درصد به مدت یک هفته فیکس شد. جهت بررسی مورفولوژی نوروں و زوائد آن شامل تعداد دندریت‌ها، تعداد انشعابات دندریت‌ها و تعداد خارهای دندریتی از رنگ آمیزی گلژی کاکس استفاده شد و نمونه‌ها به مدت هفت روز در محلول رنگ آمیزی گلژی نگهداری شدند. سپس قالب‌گیری توسط پارافین و مقطع‌گیری توسط میکروتوم روتاری با برش‌های ۵۰ میکرومتری انجام شد و از هر نمونه ۱۰ عدد لام تهیه شد (۱۶). برای انجام آنالیز دندریتی در

جدول ۱- مقایسه میانگین متغیرهای آزمون ماز مرتفع و هیستومورفومتری در گروه‌های مطالعه. # نشان دهنده اختلاف معنی‌دار با گروه کنترل، & نشان دهنده اختلاف معنی‌دار با گروه (تجربی ۱) ۹۰۰ MHz، \$ نشان دهنده اختلاف معنی‌دار با گروه (تجربی ۲) ۱۸۰۰ MHz

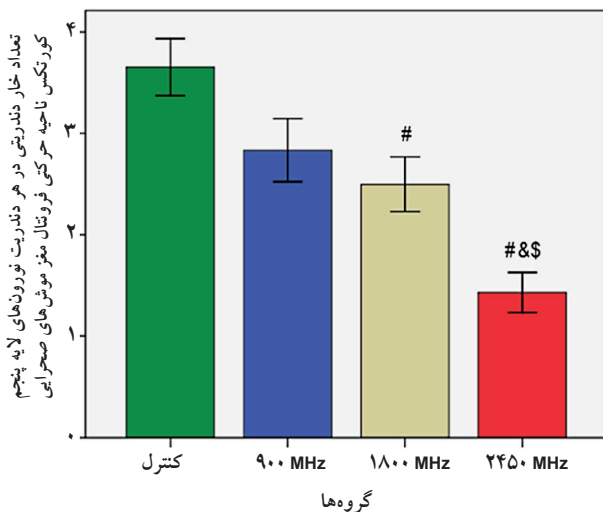
متغیر	کنترل	تجربی ۱ (۹۰۰ MHz)	تجربی ۲ (۱۸۰۰ MHz)	تجربی ۳ (۲۴۵۰ MHz)	p-value
	(Mean±SD)	(Mean±SD)	(Mean±SD)	(Mean±SD)	
میانگین تعداد ورود به بازوی باز	۵/۶۰±۰/۸۹	۲/۶۰±۰/۵۴ #	۲/۴۰±۰/۸۹ #	۱/۶۰±۰/۵۴ #	۰/۰۰۱
میانگین زمان حضور در بازوی باز (ثانیه)	۶۲/۸۰±۲/۳۳	۲۳/۶۰±۰/۴۰ #	۲۱/۶۰±۰/۷۴ #	۱۸/۸۰±۰/۵۸ #	۰/۰۰۱
میانگین تعداد ورود به بازوی بسته	۷/۸۰±۰/۸۳	۸/۰۰±۰/۴۴	۸/۴۰±۰/۵۴	۸/۸۰±۰/۸۳	۰/۲۶
میانگین زمان حضور در بازوی بسته (ثانیه)	۲۶۶/۸۰±۱/۷۴	۲۷۰/۶۰±۲/۴۴	۲۷۴/۴۰±۳/۱۴	۲۷۵/۲۰±۱/۷۷	۰/۰۸
میانگین تعداد انشعابات به تعداد دندریت	۲/۸۲±۰/۴۱	۲/۴۲±۰/۱۵	۱/۳۲±۰/۱۲ #&	۱/۲۳±۰/۲۴ #&	۰/۰۰۱
میانگین تعداد خار دندریتی در هر دندریت	۳/۶۵±۰/۲۸	۲/۸۳±۰/۳۱	۲/۴۹±۰/۲۷ #	۱/۴۳±۰/۱۹ #&\$	۰/۰۰۱



نمودار ۱- تعداد ورود و زمان سپری شده موش‌های صحرایی در بازوهای باز و بسته آزمون ماز مرتفع در گروه‌های دریافت کننده امواج. علامت # نشان دهنده اختلاف معنی‌دار با گروه کنترل.

نتایج حاصل از میانگین تعداد خارهای دندریتی هر دندریت در لایه هرمی داخلی قشر پیشانی اختلاف معنی‌داری در گروه‌های مختلف نشان داد. میانگین تعداد خارهای دندریتی گروه‌های تجربی ۲ و ۳ نسبت به گروه کنترل کاهش پیدا کرد و این کاهش معنی‌دار بود.

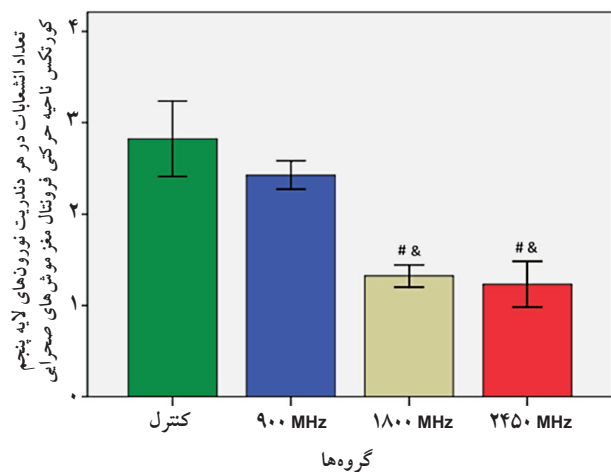
هرمی داخلی قشر پیشانی اختلاف معنی‌داری در گروه‌های مختلف نشان داد. میانگین تعداد انشعابات به تعداد دندریت گروه‌های تجربی ۲ و ۳ نسبت به گروه کنترل و گروه تجربی ۱ کاهش پیدا کرد و این کاهش معنی‌دار بود. (جدول ۱ و نمودار ۲)



نمودار ۳- تعداد خار دندریتی به تعداد دندریت S/D در لایه هرمی داخلی ناحیه حرکتی فرونتال مغز موش صحرایی. علامت # نشات دهنده اختلاف معنی داری با گروه کنترل و علامت & نشان دهنده اختلاف معنی داری با گروه امواج ۹۰۰ MHz و علامت # نشان دهنده اختلاف معنی دار با گروه ۱۸۰۰ MHz.

نورون‌ها منجر به تغییرات در آزمون رفتاری به صورت افزایش اضطراب شده است. Kumar و همکاران موش صحرایی را در معرض امواج موبایل به مدت ۴ هفته قرار دادند، نتایج آزمون ماز مرتفع کاهش معنی دار زمان سپری شده در بازوی باز موش‌های صحرایی گروه تجربی نسبت به گروه کنترل را نشان داد (۲۳). از سوی دیگر Esmaeili و همکاران موش‌های صحرایی نر بالغ را در معرض امواج موبایل به مدت ۴۵ دقیقه در بازه زمانی یک تا هفت روز قرار دادند. نتایج آزمون ماز مرتفع تغییر معنی داری در گروه‌های تجربی نسبت به گروه کنترل را نشان نداد. این نتایج با یافته‌های تحقیق حاضر ما هم خوانی ندارد که می‌تواند به دلیل مدت زمان کوتاه تابش امواج باشد (۲۴).

Bolla و همکاران موش‌های آلبینو را در معرض امواج تلفن همراه قرار دادند، نتایج افزایش آسیب نورون‌ها و کاهش معنی دار تعداد دندریت‌ها و انشعابات دندریت‌ها در هیپوکامپ گروه‌های تجربی را نشان داد (۲۵). این نتایج با یافته‌های تحقیق حاضر ما مطابقت دارد. به همین ترتیب Weining و همکاران نورون‌های هیپوکامپ مغز موش صحرایی را در محیط کشت در معرض امواج الکترومغناطیسی تلفن همراه قرار دادند. نتایج کاهش معنی دار تعداد و طول متوسط دندریت‌ها و همچنین کاهش معنی دار تراکم و تعداد خارهای دندریتی را نشان داد (۲۶). این نتایج با یافته‌های تحقیق حاضر ما هم خوانی دارد. در مطالعات متعددی گزارش شده است که

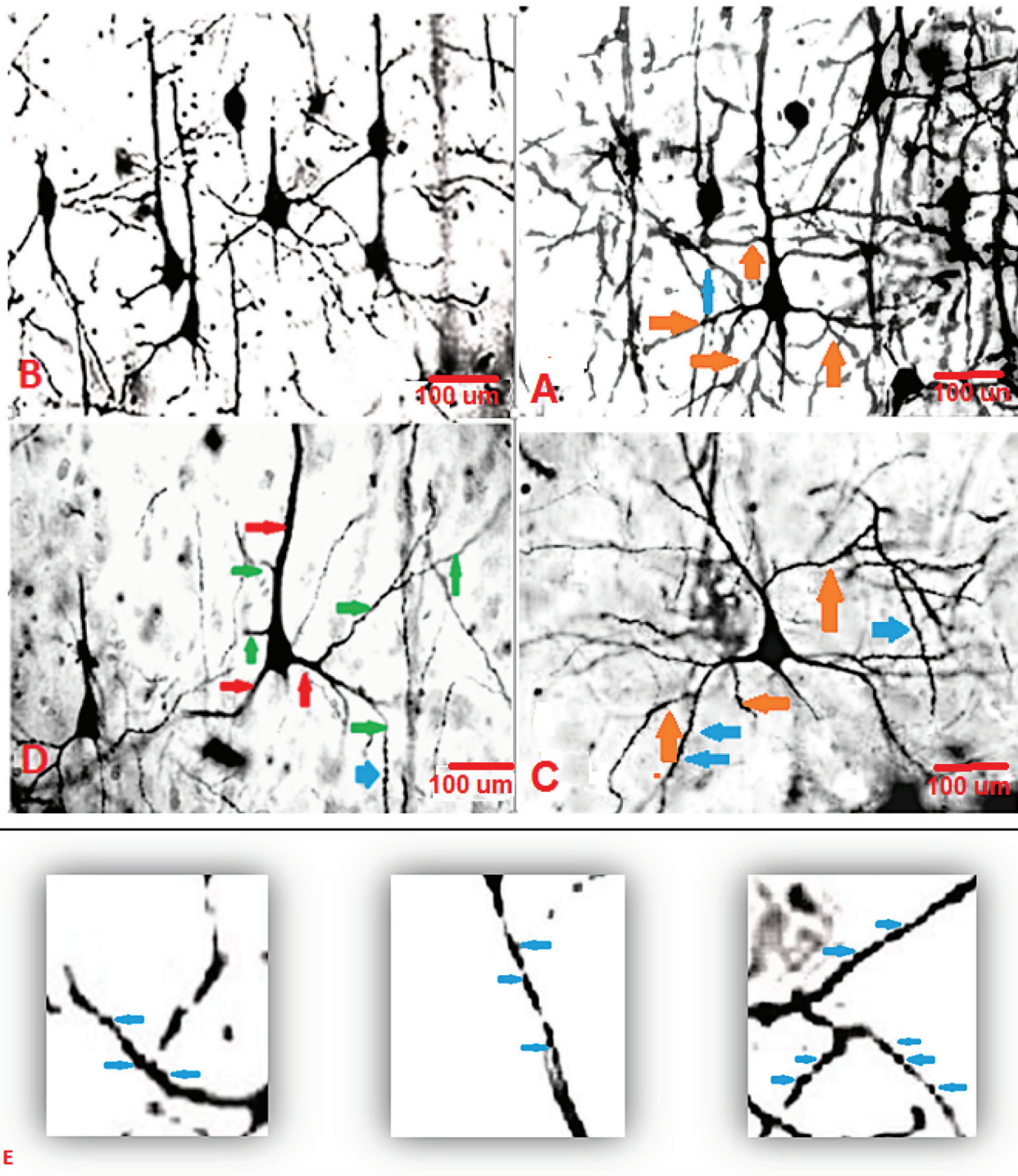


نمودار ۲- تعداد انشعابات به تعداد دندریت R/D در لایه هرمی داخلی ناحیه حرکتی فرونتال مغز موش صحرایی. علامت # نشات دهنده اختلاف معنی داری با گروه کنترل و علامت & نشات دهنده اختلاف معنی داری با گروه امواج ۹۰۰ MHz.

همچنین میانگین تعداد خارهای دندریتی گروه تجربی ۳ در مقایسه با گروه‌های تجربی ۱ و ۲ کاهش معنی داری داشت. (جدول ۱ و نمودار ۳)

بحث و نتیجه‌گیری

میدان‌های الکترومغناطیسی فرکانس پایین یکی از فاکتورهای محیطی است که می‌تواند اثرات گسترده‌ای بر روی فعالیت‌های زیستی موجودات زنده داشته باشد. انسان‌ها در جامعه مدرن در معرض انتشار بسیار زیادی از میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس‌های متفاوت هستند (۲۱). یکی از وسایل الکترونیکی که در زندگی روزمره انسان‌ها کاربرد فراوان دارد تلفن همراه است که دارای، فرکانس‌های ۹۰۰ MHz و ۱۸۰۰ MHz با شدت توان ۲ و ۱ وات بر کیلوگرم می‌باشد (۲۲). در این مطالعه با استفاده از دستگاه مولد امواج الکترومغناطیسی شبیه سازی تابش امواج الکترومغناطیسی تلفن همراه بر روی موش‌های صحرایی انجام گرفت. مطالعه حاضر ما تاثیر امواج الکترومغناطیسی در افزایش اضطراب موش‌های صحرایی و کاهش تعداد انشعابات و خارهای دندریتی نورون‌های لایه هرمی داخلی قشر پیشانی را نشان داد. با توجه به نقش مهم نورون‌های هرمی داخلی قشر پیشانی در مسیر قشری نخاعی و تاثیر این نورون‌ها در حرکت و فعالیت عضلات اسکلتی، می‌توان استنباط کرد که آسیب و یا تغییرات دژنراتیو این



شکل ۲- تعداد انشعابات و خارهای دندریتی در هر دندریت نورون‌های لایه هرمی داخلی ناحیه حرکتی لوب فرونتال مغز موش صحرایی. گروه کنترل (تصویر A)، گروه امواج ۹۰۰ MHz (تصویر B)، گروه امواج ۱۸۰۰ MHz (تصویر C)، گروه امواج ۲۴۵۰ MHz (تصویر D). بزرگنمایی ۴۰× رنگ آمیزی گلزی کاکس. پیکان قرمز رنگ انشعاب دندریت و پیکان آبی رنگ خار دندریتی می‌باشد. شمارش خارهای دندریتی (تصویر E).

(۳۴)، طناب نخاع (۳۵)، اسپرم (۳۶)، اپیتلیوم قرنیه انسانی (۳۷)، لنفوسیت‌های خون انسانی (۳۸) می‌شود. افزایش استرس اکسیداتیو باعث افزایش نشت آلبومین و جذب آن از سد خونی مغزی می‌شود. نشت آلبومین توسط نورون‌های بافت مغز جذب شده و در ادامه

امواج الکترومغناطیسی تلفن همراه باعث افزایش استرس اکسیداتیو و رادیکال‌های آزاد در محیط سلولی (۲۷) و بافت‌های مختلف مانند: کلیه (۲۸)، مغز (۲۹)، تیموس (۳۰)، قرنیه و عدسی چشم (۳۱)، ظرفیت آنتی اکسیدانی خون (۳۲)، بیضه (۳۳)، کبد و کلیه

کافی و انجام پژوهش‌های لازم برای بررسی و تعیین دقیق مکانیسم اثرگذاری این امواج در آسیب‌های سیستم عصبی، در صورت امکان توصیه می‌شود از استفاده غیر ضروری و طولانی مدت دستگاه‌های مولد این امواج اجتناب شود.

باعث تغییرات هیستوپاتولوژیک در نورون‌ها خواهد شد (۳۹، ۴۰). یافته‌های این پژوهش نشان داده است که امواج الکترومغناطیس با فرکانس پایین موجب افزایش اضطراب، کاهش تعداد انشعابات و خارهای دندریتی در موش‌های صحرایی می‌شود، لذا ضمن توجه

References

- 1- Lacy-Hulbert A, Metcalfe JC, Hesketh R. Biological responses to electromagnetic fields. *The FASEB Journal*. 1998 Apr; 12(6):395-420.
- 2- Wertheimer N, Leeper ED. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *American journal of epidemiology*. 1979 Mar 1; 109(3):273-84.
- 3- Pedersen C, Poulsen AH, Rod NH, et al. Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and risk for central nervous system disease: an update of a Danish cohort study among utility workers. *Int Arch Occup Environ Health* 2017;90(7):619-628.
- 4- Kheifets L, Ahlbom A, Johansen C, Feychting M, Sahl J, Savitz D. Extremely low-frequency magnetic fields and heart disease. *Scandinavian journal of work, environment & health*. 2007 Feb;33(1):5-12
- 5- Bas O, Odaci E, Mollaoglu H, Uçok K, Kaplan S. Chronic prenatal exposure to the 900 megahertz electromagnetic field induces pyramidal cell loss in the hippocampus of newborn rats. *Toxicology and Industrial Health*. 2009 Jul;25(6):377-84.
- 6- Ning W, XU SJ, Chiang H, XU ZP, ZHOU SY, Yang W, LUO JH. Effects of GSM 1800 MHz on dendritic development of cultured hippo-campal neurons 1. *Acta Pharmacologica Sinica*. 2007 Dec; 28(12):1873-80.
- 7- Hao D, Yang L, Chen S, Tian Y, Wu S. 916 MHz electromagnetic field exposure affects rat behavior and hippocampal neuronal discharge. *Neural regeneration research*. 2012 Jul 5;7(19):14-88.
- 8- Zhao QR, Lu JM, Yao JJ, Zhang ZY, Ling C, Mei YA. Neuritin reverses deficits in murine novel object associative recognition memory caused by exposure to extremely low-frequency (50 Hz) electromagnetic fields. *Scientific reports*. 2015 Jul 3; 5:117-68.
- 9- Lai H, Singh NP. Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. *Environmental health perspectives*. 2004 May; 112(6):687-94.
- 10- Feychting M, Jonsson F, Pedersen NL, Ahlbom A. Occupational magnetic field exposure and neurodegenerative disease. *Epidemiology*. 2003 Jul 1; 14(4):413-9.
- 11- Noonan CW, Reif JS, Yost M, Touchstone J. Occupational exposure to magnetic fields in case-referent studies of neurodegenerative diseases. *Scandinavian journal of work, environment & health*. 2002; 1:42-8.
- 12- John A. Kiernan, MB, ChB, PhD, DSc professor. *The Human Nervous System*. 2005; 8: 264-265.
- 13- Brierley JB. Hypoxia and vascular disorders of the central nervous system. *Greenfield's neuropathology*. 1985; 68:115-121.
- 14- Zarrindast MR, Torabi M, Rostami P, Fazli-Tabaei S. The effects of histaminergic agents in the dorsal hippocampus of rats in the elevated plus-maze test of anxiety. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*. 2006 Nov 1; 85(3):500-6.
- 15- Paxinos G, Watson C. *The rat brain in stereotaxic coordinates: hard cover edition*. Elsevier; 2006;6: 456.
- 16- Zaqout S, Kaindl AM. Golgi-Cox staining step by step. *Frontiers in neuroanatomy*. 2016 Mar 31; 10:38.
- 17- Dall'Oglio A, Gehlen G, Achaval M, Rasia-Filho AA. Dendritic branching features of Golgi-impregnated neurons from the "ventral" medial amygdala subnuclei of adult male and female rats. *Neuroscience letters*. 2008 Jul 18; 439(3):287-92.
- 18- Uylings HB, van Pelt J. Measures for quantifying dendritic arborizations. *Network: Computation in Neural Systems*. 2002 Jan 1; 13(3):397-414.
- 19- Benavides-Piccione R, Fernaud-Espinosa I, Robles V, Yuste R, DeFelipe J. Age-based comparison of human dendritic spine structure using complete three-dimensional reconstructions. *Cerebral cortex*. 2013 Aug 1; 23(8):1798-810.
- 20- Wirth MJ, Brün A, Grabert J, Patz S, Wahle P. Accelerated dendritic development of rat cortical pyramidal cells and interneurons after biolistic transfection with BDNF and NT4/5. *Development*. 2003 Dec 1; 130(23):5827-38.
- 21- Repacholi MH. An overview of WHO's EMF project and the health effects of EMF exposure. In *Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN (ICNIR 2003) Electromagnetic Fields and Our Health 2003 Oct 20; 20: 20-22*.
- 22- Kesari KK, Siddiqui H, Meena R, Verma HN, Kumar S. Cell phone radiation exposure on brain and associated biological systems. *Indian J Exp Biol* 2013; 51:187-200.
- 23- Kumar RS, Sareesh NN, Nayak S, Mailankot M. Hypoactivity of Wistar rats exposed to mobile phone on elevated plus maze. *Indian journal of physiology and pharmacology*. 2009

Jul 1; 53(3):283-6.

- 24- Esmaili M H, Mohammad H, Masoumi H, et al . The Effects of Acute Mobile Phone Radiation on the Anxiety Level of Male Rats Middle East J Rehabil Health. 2017; 4(2):434-78.
- 25- Srinivasa Rao Bolla et al. Effect of mobile phone radiofrequency on hippocampal CA3 neurons. International Journal of Anatomy and Research, Int J Anat Res 2015(3):1216-24.
- 26- Wei NI, XU SJ, CHIANG H, XU ZP, ZHOU SY, Wei YA, LUO JH. Effects of GSM 1800 MHz on dendritic development of cultured hippocampal neurons1. Acta Pharmacologica Sinica. 2007 Dec; 28(12):1873-80.
- 27- Calcabrini C, Mancini U, De Bellis R, Diaz AR, Martinelli M, Cucchiari L, Sestili P, Stocchi V, Potenza L. Effect of extremely low-frequency electromagnetic fields on antioxidant activity in the human keratinocyte cell line NCTC 2544. Biotechnology and applied biochemistry. 2017 May;64(3):415-22.
- 28- oumaya Ghodbane S, Lahbib A, Ammari M, Sakly M, Abdelmelek H. Does static magnetic field-exposure induced oxidative stress and apoptosis in rat kidney and muscle? Effect of vitamin E and selenium supplementations. Gen. Physiol. Biophys. 2015; 34:23-32.
- 29- Meral I, Mert H, Mert N, Deger Y, Yoruk I, Yetkin A, Keskin S. Effects of 900-MHz electromagnetic field emitted from cellular phone on brain oxidative stress and some vitamin levels of guinea pigs. Brain research. 2007 Sep 12; 1169:120-4.
- 30- Misa-Agustiño MJ, Leiro-Vidal JM, Gomez-Amoza JL, Jorge-Mora MT, Jorge-Barreiro FJ, Salas-Sánchez AA, Ares-Pena FJ, López-Martín E. EMF radiation at 2450 MHz triggers changes in the morphology and expression of heat shock proteins and glucocorticoid receptors in rat thymus. Life sciences. 2015 Apr 15; 127:1.
- 31- Balci M, Devrim E, Durak I. Effects of mobile phones on oxidant/antioxidant balance in cornea and lens of rats. Current Eye Research. 2007 Jan 1; 32(1):21-5..
- 32- Bodera P, Stankiewicz W, Zawada K, Antkowiak B, Paluch M, Kieliszek J, Kalicki B, Bartosiński A, Wawer I. Changes in antioxidant capacity of blood due to mutual action of electromagnetic field (1800 MHz) and opioid drug (tramadol) in animal model of persistent inflammatory state. Pharmacological Reports. 2013 Mar 1;65(2):421-8.
- 33- Özorak A, Nazıroğlu M, Çelik Ö, Yüksel M, Özçelik D, Özkaya MO, Çetin H, Kahya MC, Kose SA. Wi-Fi (2.45 GHz)-and mobile phone (900 and 1800 MHz)-induced risks on oxidative stress and elements in kidney and testis of rats during pregnancy and the development of offspring. Biological trace element research. 2013 Dec 1; 156(1-3):221-9.
- 34- Ozgur E, Güler G, Seyhan N. Mobile phone radiation-induced free radical damage in the liver is inhibited by the antioxidants N-acetyl cysteine and epigallocatechin-gallate. International Journal of Radiation Biology. 2010 Nov 1; 86(11):935-45.
- 35- İkinci A, Mercantepe T, Unal D, Erol HS, Şahin A, Aslan A, Baş O, Erdem H, Sönmez OF, Kaya H, Odacı E. Morphological and antioxidant impairments in the spinal cord of male offspring rats following exposure to a continuous 900 MHz electromagnetic field during early and mid-adolescence. Journal of chemical neuroanatomy. 2016 Sep 1; 75:99-104.
- 36- Yan JG, Agresti M, Bruce T, Yan YH, Granlund A, Matloub HS. Effects of cellular phone emissions on sperm motility in rats. Fertility and sterility. 2007 Oct 1; 88(4):957-64.
- 37- Wu W, Yao K, Wang KJ, Lu DQ, He JL, Xu LH, Sun WJ. Blocking 1800 MHz mobile phone radiation-induced reactive oxygen species production and DNA damage in lens epithelial cells by noise magnetic fields. Zhejiang da xue xue bao. Yi xue ban= Journal of Zhejiang University. Medical sciences. 2008 Jan; 37(1):34-8.
- 38- Belyaev IY, Hillert L, Protopopova M, Tamm C, Malmgren LO, Persson BR, Selivanova G, Harms-Ringdahl M. 915 MHz microwaves and 50 Hz magnetic field affect chromatin conformation and 53BP1 foci in human lymphocytes from hypersensitive and healthy persons. Bioelectromagnetics. 2005 Apr; 26(3):173-84.
- 39- Eberhardt JL, Persson BR, Brun AE, Salford LG, Malmgren LO. Blood-brain barrier permeability and nerve cell damage in rat brain 14 and 28 days after exposure to microwaves from GSM mobile phones. Electromagnetic biology and medicine. 2008 Jan 1; 27(3):215-29.
- 40- Nittby H, Brun A, Eberhardt J, Malmgren L, Persson BR, Salford LG. Increased blood-brain barrier permeability in mammalian brain 7 days after exposure to the radiation from a GSM-900 mobile phone. Pathophysiology. 2009 Aug 1; 16(2-3):103-12.