Archive of SID

اثر افزایش اندازه میدان الکتریکی امواج ۹۵۰ مگاهرتز بر شیب EPSP

سید محمد فیروزآبادی[۱]، مجید جدیدی[۲*]، علی رشیدی پور[۳]، بهرام بلوری[۴]، یعقوب فتح الهی[۵]، غلامرضا محمدی[۶]

۱- دانشیار گروه فیزیک پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه فیزیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران.

۳- استاد مرکز تحقیقات فیزیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران.

۴- دانشیار گروه فیزیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

۵- استاد گروه فیزیولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۶- استادیار دانشکده پزشکی ، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران.

تاریخ دریافت: ۸۷/٤/۲۹ **تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/۱۲/۱۹**

چکیده

مقدمه: در دهه گذشته، تابش گیری ناشی از امواج الکترومغناطیسی حاصل از آنتن های گیرنده فرستنده تلفن همراه افزایش یافته است. این مطالعه به منظور بررسی اثر افزایش اندازه میدان الکتریکی امواج ۹۵۰ مگاهرتز بر شیب EPSP ، پس از ایجاد تقویت طولانی مدت در ناحیه شکنج دندانه دار هیپوکمپ صورت گرفت.

مواد و روشها: ۲۴ راس موش بزرگ آزمایشگاهی مذکر از نژاد ویستار با سنی حدود ۳ ماه و وزن ۱۵±۲۲۰ گرم، بطور تصادفی به سه گروه تابش گیری کاذب، امواج GSM با اندازه میدان الکتریکی ۵۰/۴ ولت بر متر و امواج GSM با اندازه میدان الکتریکی ۶۰ ولت بر متر تقسیم شد. برنامه تابش دهی شامل ۱۰ جلسه در مدت سه روز بود و حیوانات برای ۴۵ دقیقه در داخل یک محفظه پلاستیکی در معرض میدان الکترومغناطیسی قرار گرفتند. بلافاصله پس از تابش دهی به منظور القای تقویت طولانی مدت، بیهوشی انجام شد و پس از ثبت پتانسیل های میدانی برای ۶۰ دقیقه، شیب EPSP و بقای آن مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج: داده ها نشان داد که تابش گیری تمام بدن با امواج ۹۵۰ مگاهرتز سیستم تلفن همراه GSM ، با اندازه میدان الکتریکی ۶۰ ولت بر متر می تواند باعث ایجاد تغییر در شیب EPSP در هیپوکمپ مغز موش بزرگ آزمایشگاهی شود.

بحث و نتیجه گیری: افزایش اندازه میدان الکتریکی می تواند منجر به تغییر کارآیی سیناپسی و تغییر برخی خصوصیات تقویت طولانی مدت هیپوکمپ مغز موش شود. (مجله فیزیک پزشکی ایران، دوره ۶، شماره ۱، پیاپی (۲۲)، بهار ۸۸: ۴۰-۳۳)

واژگان کلیدی: موج الکترومغناطیسی، تلفن همراه، تقویت طولانی مدت،شیب EPSP

* **نویسنده مسؤول: مجید جدیدی**

آدرس: سمنان، گروه فیزیک پزشکی،دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان،

jadidim@sem-ums.ac.ir

تلفن و نمابر: ۴۴۴۰۲۲۵- (۲۳۱) ۹۸+

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

با افزایش روزافزون سیستم تلفن همراه، تابش گیری از میدان های الکترومغناطیسی گوشی تلفن همراه و آنتن های گیرنده فرستنده تلفن همراه[1] رو به افزایش است. سیستم تلفن همراه ۹۰۰ GSM[2] که در بیشتر کشورهای آسیایی و اروپایی مورد استفاده قرار می گیرد، دارای دو باند فرکانسی ۹۱۵-۸۹۰ مگاهرتز (فرکانس گوشی تلفن همراه) و ۹۶۰-۹۳۵ مگاهرتز (فرکانس آنتن های گیرنده فرستنده مخابرات) است که همراه با پالسی ۲۱۷ هرتز (فرکانس مدولاسیون) در یک پهنای باند ۲۰۰ کیلوهرتز اطلاعات را منتقل می نماید.

در دهه گذشته مطالعات زیادی در رابطه با اثر پرتوهای الکترومغناطیسی بر عملکرد بخش های مختلف سیستم عصبی و حافظه انسان و حیوانات به اجرا در آمده است. هر چند اثر امواج بر فرآیند های رفتاری و خصوصاً حافظه، مورد توجه ویژه ای بوده اما تنها در برخی مطالعات اختلال در حافظه را ناشی از تابش میدان های الکترومغناطیسی دانسته اند [۱۱-۱] در حالیکه در بعضی، به منظور بررسی امواج تابشی از سیستم های مولد میدانهای ۹۰۰ یا ۲۴۵۰ مگاهرتز بر یادگیری و حافظه، اثری مشاهده نشده است [۱۷-۱۲].

یکی از ساختارهایی که در شکل گیری حافظه دخیل می باشد هیپوکامپ است. شواهد فیزیولوژیک و الکتروفیزیولوژیک متعددی وجود دارد که نشان می دهد، این ساختار نقش مهمی در حافظه فضایی جوندگان دارد [۱۸]. از این رو این احتمال وجود دارد که تغییرات مشاهده شده در فرایند های رفتاری و حافظه که بدنبال تابش امواج ثبت شده، ناشی از تغییراتی باشد که در عملکرد بافت هیپوکمپ بوجود آمده است

تقویت[3]، افزایش کارآیی سیناپسی در ناحیه ای است که یک سیناپس، فعالیت سلول عصبی پیش سیناپسی را به دندریت پس سیناپسی منتقل می کند [۱۹]. اصطلاح تقویت طولانی مدت[4] برای اولین بار توسط لومو[5] در سال ۱۹۶۶ مورد استفاده قرار گرفت. او و همکارش بلیس[6] در هنگام کار با هیپوکمپ مغز خرگوش دریافتند که چند ثانیه تحریک الکتریکی مسیر پرفوران[7] با فرکانس بالا، کارآیی سیناپسی را برای روزها یا هفته ها افزایش می دهد [۲۰]. هر چند شواهدی وجود دارد که نشان می دهد تقویت طولانی مدت زیر بنای حافظه است ولی همیشه تقویت طولانی مدت برابر با حافظه نیست [۲۰]. شاید تقویت طولانی مدت یکی از مکانیسم های درگیر در حافظه باشد که نقش مهمی در حافظه بازی می کند ولی قطعا تنها مکانیسم نیست. از طرف دیگر نقش تقویت طولانی مدت در ساختارهای مختلف مغزی در حافظه متفاوت است.

همانطور که اشاره شد یادگیری به مکانیسم هایی که کارآیی سیناپس ها را تغییر می دهند، وابسته است و یکی از پدیده های یادگیری، تقویت طولانی مدت است که ناشی از افزایش کارآیی سیناپسی می باشد. از این رو سیگنالی که به یک سیناپس وارد می شود، در سلول دوم یک EPSP[8] با دامنه ای اختصاصی تولید می کند.

از آنجا که تاکنون نتیجه قطعی اثر امواج بر حافظه به اثبات نرسیده و هر گونه اختلال کوچک در فرایند حافظه آثار جبران ناپذیری را به دنبال خواهد داشت، در ادامه تحقیقات انجام شده توسط این گروه [۲۱،۲۲]، ناحیه هیپوکمپ بعنوان بخشی از بافت مغزی که با حافظه ارتباط دارد انتخاب شد تا احتمال تغییر کارآیی سیناپسی سلول های عصبی بافت هیپوکمپ پس از تابش امواج الکترومغناطیسی ۹۵۰ مگاهرتز (بعنوان فرکانس میانه باند فرکانسی آنتن های گیرنده/فرستنده مخابرات) مورد بررسی قرار گیرد.

با توجه به نکات فوق هدف اصلی این مطالعه تجربی، بررسی اثر افزایش اندازه میدان الکتریکی امواج ۹۵۰

[1] Base Station
[2] Global System for Mobiles
[3] Potentiation
[4] Long Term Potentiation
[5] Terje Lomo
[6] Timothy Bliss
[7] Perforant path
[8] Excitatory postsynaptic potentiation

www.SID.ir

Archive of SID

مگاهرتز بر شیب EPSP پس از ایجاد تقویت طولانی مدت در ناحیه هیپوکمپ مغز موش بزرگ آزمایشگاهی صورت گرفت.

۲- مواد و روشها

۲-۱- حیوان

در این مطالعه تجربی، بر اساس جداول تعیین تعداد نمونه برای بیش از دو گروه و با استفاده از نتایج مقالات مشابه، ۲٤ راس موش بزرگ آزمایشگاهی مذکر از نژاد ویستار با سنی حدود ۳ ماه و وزن ۱۵±۲۲۰ گرم در سه گروه ۸ تایی مورد استفاده قرار گرفت: تابش گیری کاذب و تابش گیری با امواج ۹۵۰ مگاهرتز GSM با اندازه میدان الکتریکی ۵۰/٤ ولت بر متر و تابش گیری با امواج ۹۵۰ مگاهرتز GSM با اندازه میدان الکتریکی ٦۰ ولت بر متر. حیوانات در طول دوره آزمایش در محیطی با دمای ثابت ۲۱ درجه سانتی گراد و سیکل ثابت شبانه روزی ۱۲ ساعته نگهداری شدند. حداکثر ۸ حیوان در هر قفس قرار داده شد و آب و غذا به مقدار کافی در دسترس حیوانات قرار گرفت و حدود ۲ ساعت قبل از جراحی، حیوانات از آب و غذا محروم شدند.

۲-۲- میدان الکترومغناطیسی

از یک دستگاه شبیه ساز امواج تلفن همراه که در دانشگاه خواجه نصیر طوسی ایران طراحی و ساخته شده برای ایجاد امواج GSM با فرکانس ۹۵۰ مگاهرتز، پالس ۲۱۷ هرتز و پهنای باند ۲۰۰ کیلوهرتز استفاده گردید. آنتن دستگاه در مرکز یک محفظه استوانه ای از جنس پلاستیک و با قطر ۳۰ سانتی متر ثابت گردید و حیوان می توانست آزادانه در اطراف آنتن حرکت نماید. به منظور جلوگیری از تابش گیری ناخواسته از ناحیه واکنش دار[1] میدان نزدیک امواج، شبکه ای از جنس پلاستیک و با شعاع ۵ سانتی متر بعنوان محافظ آنتن نصب شد. پس از سنجش میانگین چگالی توان در داخل محفظه با دستگاه سنجش امواج رادیویی[2]، میانگین دو میدان الکتریکی اندازه گیری شده در اطراف آنتن برابر ۵۰/٤ ولت بر متر و ٦۰ ولت بر متر تعیین گردید. می توان دریافت که میدان ایجاد شده توسط دستگاه شبیه ساز، دارای میدان الکتریکی کمتر از حد مجاز برای کارکنان (۹۰ ولت بر متر) و بیشتر از حد مجاز برای افراد جامعه (٤۱/۲۵ ولت بر متر) می باشد. همچنین اندازه میدان الکتریکی مورد استفاده در این آزمایش برابر با اندازه میدان الکتریکی بکار گرفته شده در آزمایش تاترسال[3] است[۱۹].

برنامه تابش دهی به صورتی تنظیم شد که هر حیوان در مدت ۳ روز برای ۱۰ جلسه ٤۵ دقیقه ای مورد تابش دهی قرار گیرد. شرایط آزمایش در گروه ها کاملا یکسان انتخاب شد و تنها در گروه تابش دهی کاذب، دستگاه تولید امواج در زمان حضور حیوان در محفظه خاموش بود.

۲-۳- الکترودگذاری و ثبت سیگنال

بلافاصله پس از پایان تابش دهی، هر حیوان با تزریق داخل صفاقی داروی یورتان[4] (به میزان ۱/۵گرم بر کیلو گرم وزن) بیهوش شده سپس در دستگاه استریوتاکسی قرار می گرفت و پس از برداشتن پوست جمجمه، محل ورود الکترودها در دو ناحیه مسیر پرفوران و شکنج دانداندانه دار[5] درنیمکره راست مغز علامت گذاری شده و با کمک یک مته کوچک سوراخ می شد. به منظور ایجاد تحریک در ناحیه مسیر پرفوران یک الکترود دو قطبی، از جنس نقره با پوششی از تفلون (با قطر۱۲۵ میکرون)، وارد مغز شده (با مختصات قدامی خلفی ٦/۸ - میلی متر، عمق ۳ میلی متر و فاصله جانبی ٤/۱ میلی متر)، سپس برای ثبت سیگنال یک میکروالکترود شیشه ای با امپدانس یک نا سه مگا اهم با سرم فیزیولوژیک پر شده، درلایه یاخته های گرانوله ای شکنج دانداندانه دار درنیمکره راست مغز (با مختصات قدامی خلفی ۲/۸ - ، عمق ۳/۲ میلی متر و فاصله جانبی ۱/۸

[1] Reactive

[2] RF radiation meter (Narda 8716)
[3] Tattersall
[4] Urethane
[5] Dentate Gyrus

www.SID.ir

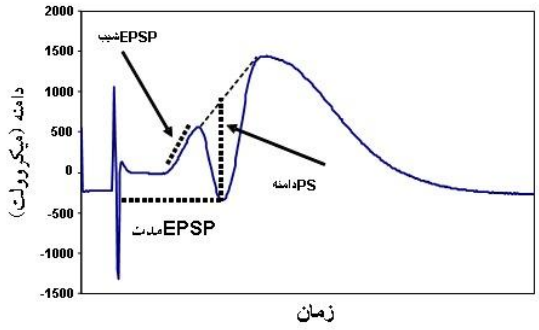
Archive of SID

میلی متر) قرار داده می شد [۲۳]. الکترود مرجع یا غیر فعال برای ثبت، از جنس نقره و با ضخامت ۲۵۰ میکرون بود که زیر پوست حیوان قرار می گرفت. الکترود ثبات و مرجع، به دستگاه آمپلی فایر[1] و الکترود تحریکی به دستگاه تحریک کننده[2] وصل می شد.

به منظور ایجاد پتانسیل های برانگیخته میدانی در ناحیه شکنج دندانه دار ، بخش مسیر پرفوران با تک پالس های مربعی مونوفازیک (۰/۱ هرتز، ۲۰۰ میکرو ثانیه) بوسیله دستگاه تحریک کننده، تحریک شد. سپس دامنه تجمعی[3] در صفحه نمایش اسیلوسکوپ، به ۵۰ درصد مقدار ماگزیمم رسیده و با عنوان تست تحریکی[4] برای ایجاد تقویت طولانی مدت مورد استفاده قرار گرفت. برای ثبت فعالیت پایه، سه ثبت در زمان های ۰و۵- و ۱۵- انجام شده و بلافاصله برای ایجاد تقویت طولانی مدت، دو قطار موج مربعی۲۵۰ هرتز با طول یک ثانیه در فاصله ۳۰ ثانیه و با شدتی برابر تست تحریکی به مسیر پرفوران اعمال شد [۲٤،۲۵]. پس از ایجاد تقویت طولانی مدت، پتانسیل های برانگیخته مجددا با تحریکات تک پالسی (۰/۱ هرتز) در ٦ مرحله (۱۰،۲۰،۳۰،٤۰،۵۰،٦۰ دقیقه) ثبت شد. معیارهای ارزیابی سیگنال شیب EPSP و بقای شیب[5] بود که شیوه اندازه گیری آن در تصویر ۱ نشان داده شده است. به منظور بررسی بقای شیب، شیب در هر نقطه، با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد و مورد استفاده قرار گرفت.

۱۰۰* [مقدار اولین ثبت / (مقدار اولین ثبت – مقدار آخرین ثبت)] = در صد بقا

کلیه داده های ثبت شده با استفاده از آزمون آماری آنالیز واریانس یک طرفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



شکل ۱- نمونه ای از پتانسیل میدانی ثبت شده در ناحیه شکنج دندانه دار و شیب EPSP

۳- نتایج

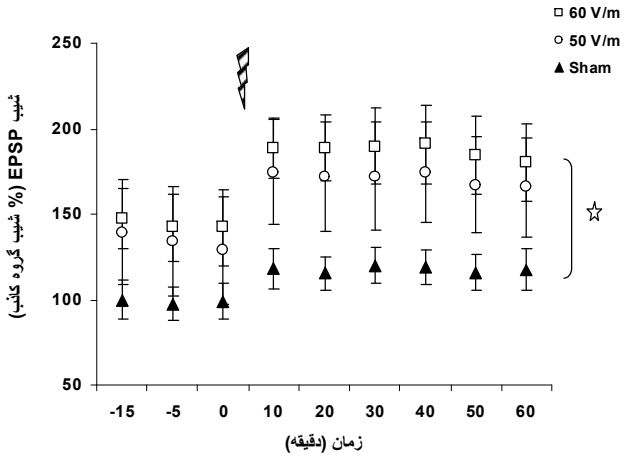
الف) شیب EPSP: آنالیز آماری یافته ها اختلاف معنی داری را بین شیب EPSP اندازه گیری شده در گروه آزمایشی GSM با اندازه میدان الکتریکی ۵۰/٤ ولت بر متر و گروه تابش گیری کاذب نشان نداد. در حالیکه با افزایش اندازه میدان الکتریکی (٦۰ ولت بر متر) بین گروه آزمایشی GSM و گروه تابش دهی کاذب اختلاف معنی داری بوجود آمد که در تمام مراحل ثبت پایدار باقی ماند ($P<۰/۰۲۷$). شکل۲ نمایانگر شیب EPSP در گروههای آزمایشی است.

ب) بقای شیب EPSP : با بررسی بقای شیب EPSP مشخص گردید که شیب حاصل در تمامی گروه های این بخش از آزمون یکسان بوده و اختلاف آماری معنی داری بین نتایج وجود ندارد. تصویر ۳ نمایانگر بقای شیب EPSP در گروه های آزمایشی است. این به آن معنی است که تغییرات ایجاد شده در شیب EPSP در تمامی گروه ها برای مدت ٦۰ دقیقه پایدار باقی می ماند.

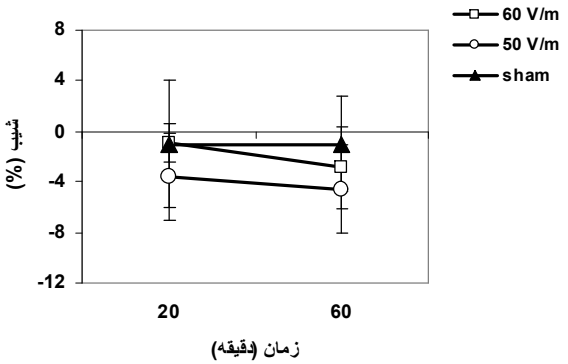
[1] ISO 80
[2] Accupulser (A 310)
[3] Population Spike
[4] Test Stimulus
[5] EPSP Maintenance

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۲- نمودار شیب EPSP در گروه های آزمایشی (میانگین ± خطای معیار). آنالیز آماری یافته ها اختلاف معنی داری را بین گروه آزمایشی ۶۰ ولت بر متر و گروه تابش دهی کاذب نشان داد.



تصویر ۳- نمودار بقا یا شیب EPSP در گروه های آزمایشی (میانگین ± خطای معیار). شیب حاصل در تمامی گروه های آزمون یکسان بوده و اختلاف آماری معنی داری بین نتایج وجود ندارد.

٤- بحث و نتیجه گیری

امواج الکترومغناطیسی تلفن همراه و آنتن های گیرنده فرستنده آن، موجب افزایش بسیار اندک دمای مغز شده، از این رو آثار بیولوژیکی سیستم تلفن همراه ناشی از اثرات غیر حرارتی می باشد [۲٦]. اطلاعات بدست آمده از این تحقیق بیانگر آن است که ۱۰ جلسه تابش گیری ٤٥ دقیقه ای با امواج ۹۵۰ مگاهرتز آنتن گیرنده فرستنده تلفن همراه GSM با اندازه میدان الکتریکی ٦۰ ولت بر متر بر کارآیی سیناپسی ناحیه هیپوکمپ مغز موش بزرگ آزمایشگاهی اثر می گذارد. اما عدم تاثیر امواج برپارامترهای تقویت طولانی مدت در اندازه میدان الکتریکی ۵۰ ولت بر متر نشان دهنده تفاوت بین نتایج این تحقیق با نتیجه آزمایش انجام شده توسط تاترسال می باشد [۱۹]. گرچه او در فرکانس و شدت های مختلف اثری را مشاهده نکرد، لاکن تنها در فرکانس ۹۰۰ مگاهرتز و اندازه میدان۵۰ ولت بر متر، دامنه تجمعی سیگنال افزایش یافت. هرچند اندازه میدان الکتریکی بکار گرفته شده در این آزمایش با آزمون تاترسال یکسان انتخاب شد اما باید در نظر داشت که در آزمون تاترسال انرژی امواج فقط در برشی از بافت به ضخامت ٤۰۰ میکرومتر جذب شده در حالیکه در این تحقیق بدلیل آزمایش بر روی موجود زنده[1]، انرژی اختصاصی باید در تمام بدن حیوان، جمجمه و تمام مغز جذب گردد از این رو اثر امواج کاهش خواهد یافت. به همین دلیل با افزایش اندازه میدان الکتریکی به ٦۰ ولت بر متر، در شیب EPSP تغییر ایجاد شد. ثانیا در تحقیق بر روی موجودات زنده، ثبت سیگنال همزمان با اعمال میدان الکترومغناطیسی امکان پذیر نبوده و به دلیل وجود وقفه زمانی بین تابش گیری و ثبت سیگنال، تغییرات اعمال شده در سیگنال تقویت طولانی مدت، همزمان با تابش امواج

[1] in vivo

www.SID.ir

Archive of SID

قابل سنجش نیست. عامل مهم تاثیر گذار در اجـرای ایـن آزمون، وجود الکترودهای فلزی در ناحیـه مسـیر پرفـوران است که در صورت تابش امواج، نویز هایی را در سـیگنال های ثبتی ایجاد می کند، از این رو احتمال حذف تغییرات ایجاد شده در سیگنال تقویت طولانی مدت را بـا گذشـت زمان، نباید از نظر دور داشت. بونه فونت[1] توانسـت ثابـت نماید که پس از تابش امواج ۹۰۰ مگاهرتز با شدت زیـاد، مقـدار گیرنـده هـایNMDA[2] و GABA[3] در سـلول عصبی تغییر می کنـد [۲۷]، بـدین ترتیـب احتمـال تغییـر پارامتر های سـیگنال تقویـت طـولانی مـدت وجـود دارد، لاکن، از آنجا که نتایج حاصل از این تحقیق بـا فرکـانس، چگالی توان و مدت تابش دهی متفاوتی انجام شده، نمـی توان انتظار داشت که تغییر پـارامتر هـای سـیگنال تقویـت طولانی مدت در آزمایشات مختلـف بـه صـورت یکسـان ظاهر شود.

پاخوموف[4] نیز اثر امواج بسیار پرقـدرت بـا فرکـانس ۹/۳ گیگاهرتز را بر عملکرد شبکه عصـبی در بـرش هیپوکمـپ موش بررسی کرد. تنها نتیجه، کاهش موقت دامنه تجمعـی سیگنال و متناسب با افزایش دما بود [۲۸]. از ایـن رو اثـر ایجاد شده یک اثر حرارتی و خارج از محدوده تلفن همراه می باشد.

نتایج تحقیق حاضر بیانگر آن است که در تابش گیری های کوتاه مدت، امواج الکترومغناطیسی تابشـی از آنـتن هـای گیرنده فرستنده تلفن همراه در شدت های زیاد مـی توانـد بر کارآیی سیناپسی ناحیه هیپوکمپ مغز اثـر داشـته باشـد. گرچه میزان تابش گیری در مناطق نزدیک آنـتن در برخـی از مطالعات کمتر از حد مجاز تعیین شـده توسـط سـازمان های بین المللی[5] می باشد، اما بدلیل آنکه به نظر می رسـد شدت و دوره تابش گیری عواملی برای بروز اثرات میـدان الکترومغناطیسی بر حافظه است، احتمال بـروز آثـار را در افرادی که در نزدیک آنتن ها زندگی می کنند نباید از نظـر دور داشت. از این رو با توجه به افـزایش سـریع کـاربران تلفن همراه و نصب آنتن هـای بیشـتر در منـاطق شـهری، اطلاعـات بیشـتری در خصـوص اثـرات میـدان هـای الکترومغناطیسی بر مغز انسان مورد نیاز بـوده و ضـرورت اجرای آزمون های تکمیلی، احساس می شود.

۵- تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مسئولین محترم مرکز تحقیقات مخابرات ایران، بدلیل حمایت مالی از پروژه و دانشگاه های تربیت مـدرس و علوم پزشکی سمنان به سبب فراهم سازی امکانات لازم بـرای اجرای این پژوهش تشکر و قدر دانی می شود.

[1] Mauset-Bonnefont
[2] N'-methyl-D-asparate
[3] Gamma-aminobutyric acid
[4] Pakhomov
[5] ICNIRP

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. Croft RJ, Chandler JS, Burgess AP, Barry RJ, Williams JD, Clarke AR. Acute mobile phone operation affects neural function in human. Clin Neurophysiol. 2002; 113: 1623-1632.
2. Haarala C, Bjornberg L, Ek M, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hamalainen H. Effect of 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phone on human cognitive function: A replication study. Bioelectromagnetics. 2003; 24(4):283-288.
3. Hermann DM, Hossmann KA. Neurological effects of microwave exposure related to mobile communication. J Neurol Sci. 1997; 152: 1-14.
4. Hocking B, Westerman R. Neurological abnormalities associated with CDMA exposure. Occup Med. 2001; 51(6): 410-413.
5. Hocking B, Westerman R. Neurological effects of radiofrequency radiation. Occup Med. 2003; 53:123-127.
6. Koivisto M, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H. The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. Neuroreport. 2000; 11:1641-1643.
7. Koivisto M, Revonsvo A, Krause C, Haarola C, Sillanmaki L, Laine M, Hamalainen H. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. Neuroreport. 2000; 11: 413-415.
8. Lai H. Interaction of microwaves and a temporally incoherent magnetic field on spatial learning in the rat. Physiology & Behavior. 2004; 82: 785-789.
9. Lai H, Horita A, Guy AW. Microwave irradiation affects radial-arm maze performance in the Rat. Bioelectromagnetics. 1994; 15:95-104.
10. Lass J, Tuulik V, Ferenets R, Riisalo R, Hinrikus H. Effects of 7 Hz-modulated 450 MHz electromagnetic radiation on human performance in visual memory tasks. Int J Radiat Biol. 2002; 78(10): 937-944.
11. Cassel JC, Cosquer B, Galiani R, Kuster N. Whole body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter radial-maze performance in rats. Behav Brain Res. 2004; 155(1):37-43.
12. Cosquer B, Galini R, Kuster N, Cassel JC. Whole-body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter anxiety responses in rats: a plus-maze study including test validation. Behav Brain Res. 2005; 156 (1):65-74.
13. Dubreuil D, Jay T, Edeline JM. Does head-only exposure to GSM-900 electromagnetic fields effect the performance of rats in spatial learning tasks? Behav Brain Res. 2002; 129:203-210.
14. Dubreuil D, Jay T, Edeline JM. Head only exposure to GSM 900 MHz electromagnetic fields does not alter rat s memory in spatial and non-spatial tasks. Behav Brain Res. 2003; 145: 51-61.
15. Preece AW, Davies-smith A, Wesnes K, Butler S, Lim E, Varey A. Effect of 915 MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. Int J Biol. 1999; 75(4):447-456.
16. Sienkiewicz ZJ, Blackwell RP, Haylock RG, Saunders RD, Cobb BL. Low-level exposure to pulsed 900 MHz microwave radiation does not cause deficits in the performance of a spatial learning task in mice. Bioelectromagnetics. 2000; 21:151-158.
17. Milner B, Squire LR, Kandel ER. Cognitive neuroscience and the study of memory. Neuron. 1998; 20:445-468.

www.SID.ir

Archive of SID

18. Morris RGM, Gurrud P, Rawllins JNP, Okeefe J. Place navigation impaired in rats with hippocampal lesions. Nature. 1982; 297:681-683.
19. Tattersall JEH, Scott IR, Wood SJ, Nettell JJ, Bevir MK, Wang Z. et al. Effects of low intensity radiofrequency electromagnetic fields on electrical activity in rat hypocampial slices. Brain Res. 2001; 904:43-53.
20. Shors TJ, Matzel LD. Long-term potentiation: What's learning got to do with it? Behav Brain Sci. 1997; 20:597-655.
21. Jadidi M, Firoozabadi SMP, Rashidy-pour A, Bolouri B, Fathollahi Y. The effect of electromagnetic waves of GSM mobile phone sytem on the electrical impedance of rat brain hippocampus. IJMP. 2006; 3(11):21-28.
22. Jadidi M, Firoozabadi SMP, Rashidy-pour A, Bolouri B, Fathollahi Y. The effect of GSM mobile phone base station waves on hippocampus synaptic plasticity. Koomesh. 2006; 8(2):79-84.
23. Frey S, Bergado-Rosado J, Seidenbecher T, Pape H, Frey JU. Reinforcement of early long-term potentiation (early-LTP) in dentate gyrus by stimulation of basolateral amygdala: Heterosynaptic induction mechanisms of late-LTP. J Neurosci. 2001; 21(10):3697-3707.
24. Kelly A, Lynch A, Vereker E, Nolan Y, Queenan P, Whittaker E. et al. The anti-inflammatory cytokine, interleukin (IL)-10, blocks the inhibitory effects of IL-1β on long term potentiation. J Biol Chem. 2001; 276(49): 45564-45572.
25. Zhu DM, Wang M, She JQ, Yu K, Ruan DY. Protection by a taurine supplemented diet from lead- induced deficits of long-term potentiation/ depotentiation in dentate gyrus of rats in vivo. Neuroscience. 2005; 134:215- 224.
26. Ilhan A, Gurel A, Armutcu F, Kamisli S, Iraz M, Akyol O. et al. Ginkgo biloba prevents mobile phone-induced oxidative stress in rat brain. Clinica Chimica Acta. 2004; 340:153-162.
27. Mauset-Bonnefont A, Hirbec H, Bonnefont X, Privat A, Vignon J, Seze R. Acute exposure to GSM 900-MHz electromagnetic fields induces glial reactivity and biochemical modifications in the rat brain. Neurobiol Dis. 2004; 17:445-454.
28. Pakhomov AG, Doyle J, Stuck BE, Murphy MR. Effects of high power microwave pulses on synaptic transmission and long term potentiation in hippocampus. Bioelectromagnetics. 2003; 24(3):174-181.

www.SID.ir