مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی سمنان- جلد ۸، شماره ۲ ، زمستان ۱۳۸۵

اثر امواج آنتن‌های گیرنده فرستنده سیستم تلفن همراه GSM بر کارآیی سیناپسی ناحیه هیپوکمپ

مجید جدیدی[۱] (Ph.D)، سیدمحمد فیروزآبادی[*۲] (Ph.D)، علی رشیدی‌پور[۱] (Ph.D)، بهرام بلوری [۳] (Ph.D)، یعقوب فتح‌الهی[۴] (Ph.D)

۱- *دانشگاه علوم پزشکی سمنان، مرکز تحقیقات فیزیولوژی*

۲- *دانشگاه تربیت مدرس، گروه فیزیک‌پزشکی*

۳- *دانشگاه علوم پزشکی ایران، گروه فیزیک‌پزشکی*

۴- *دانشگاه تربیت مدرس، گروه فیزیولوژی*

چکیده

سابقه و هدف: در طول دهه گذشته، تابش‌گیری ناشی از میدان‌های الکترومغناطیسی حاصل از آنتن‌های گیرنده/ فرستنده تلفن همراه افزایش یافته است. این مطالعه In vivo به منظور بررسی اثر امواج ۹۵۰ مگاهرتز سیستم تلفن همراه GSM بر تقویت طولانی‌مدت (LTP) ناحیه Dentate gyrus صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: ۳۲ رأس موش بزرگ آزمایشگاهی مذکر از نژاد Wistar با سنی حدود ۳ ماه و وزن ۱۵±۲۲۰ گرم، به‌طور تصادفی به چهار گروه تابش‌گیری کاذب، ۹۵۰ مگاهرتز پیوسته، ۹۵۰ مگاهرتز با مدولاسیون و ۹۵۰ مگاهرتز GSM تقسیم شدند. برنامه تابش‌دهی شامل ۱۰ جلسه در مدت سه روز بود و حیوانات برای ۴۵ دقیقه در داخل یک محفظه پلاستیکی در معرض میدان الکترومغناطیسی قرار گرفتند (شدت میدان الکتریکی ۵۰/۴ V/m). بلافاصله پس از تابش‌دهی به منظور القای LTP، بی‌هوشی انجام شده و پتانسیل‌های میدانی برای ۶۰ دقیقه ثبت و دامنه PS، شیب EPSP، بقای شیب EPSP و مدت EPSP مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: آنالیز آماری داده‌های آزمون، بیان‌گر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در دامنه PS، شیب EPSP، بقای شیب و مدت EPSP بین چهار گروه آزمایش است.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل بیان‌گر آن است که تابش‌گیری تمام بدن با امواج ۹۵۰ مگاهرتز سیستم تلفن همراه GSM، تأثیری بر تقویت طولانی‌مدت (LTP) هیپوکمپ مغز موش بزرگ آزمایشگاهی ندارد.

واژه‌های کلیدی: میدان الکترومغناطیسی، آنتن گیرنده فرستنده، تقویت طولانی‌مدت (LTP)

مقدمه

با افزایش روزافزون سیستم تلفن همراه، تابش‌گیری از میدان‌های الکترومغناطیسی گوشی تلفن همراه و آنتن‌های گیرنده/فرستنده تلفن همراه (Base station)، رو به افزایش است. سیستم تلفن همراه ۹۰۰ GSM که در بیش‌تر کشورهای آسیایی و اروپایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، دارای دو باند فرکانسی ۹۱۵-۸۹۰ مگاهرتز (فرکانس گوشی تلفن همراه) و ۹۶۰-۹۳۵ مگاهرتز (فرکانس آنتن‌های گیرنده/فرستنده مخابرات) است، که همراه با پالس ۲۱۷ هرتز (فرکانس مدولاسیون) در یک پهنای باند ۲۰۰ کیلوهرتز،

* نویسنده مسئول. تلفن: ۸۸۰۱۱۰۰۱- ۰۲۱، نمابر: ۸۸۰۱۳۰۳۰ -۰۲۱، E-mail: pourmir@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۶/۱/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۵/۳

Archive of SID
www.SID.ir

اطلاعات را منتقل می‌نماید [۱].

در دهه گذشته مطالعات زیادی در رابطه با اثر پرتوهای الکترومغناطیسی بر عمل‌کرد بخش‌های مختلف سیستم عصبی و حافظه انسان و حیوانات به اجرا در آمده است. هر چند اثر امواج بر فرآیندهای رفتاری و به‌خصوص حافظه، مورد توجه ویژه‌ای بوده، اما تنها در برخی مطالعات، اختلال در حافظه را ناشی از تابش میدان‌های الکترومغناطیسی دانسته‌اند [۱۲-۲] درحالی‌که در بعضی، به منظور بررسی امواج تابشی از سیستم‌های مولد میدان‌های ۹۰۰ یا ۲۴۵۰ مگاهرتز بر یادگیری و حافظه، اثری مشاهده نشده است [۱۸-۱۳].

یکی از ساختارهایی که در شکل‌گیری حافظه دخیل می‌باشد هیپوکامپ است. شواهد فیزیولوژیک و الکتروفیزیولوژیک متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد، این ساختار نقش مهمی در حافظه فضایی جوندگان دارد [۱۹،۲۰]؛ از این رو این احتمال وجود دارد که تغییرات مشاهده شده در فرایندهای رفتاری و حافظه که به‌دنبال تابش امواج، ثبت گردیده، ناشی از تغییراتی باشد که در عمل‌کرد بافت هیپوکامپ به‌وجود آمده است.

تقویت (Potentiation)، افزایش کارآیی سیناپسی در ناحیه‌ای است که یک سیناپس، فعالیت سلول عصبی پیش‌سیناپسی را به دندریت پس‌سیناپسی منتقل می‌کند [۲۱]. اصطلاح تقویت طولانی‌مدت یا Long-term potentiation برای اولین بار توسط Terje Lomo در سال ۱۹۶۶ مورد استفاده قرار گرفت. او و همکارش Timothy Bliss در هنگام کار با هیپوکامپ مغز خرگوش دریافتند که چند ثانیه تحریک الکتریکی ناحیه Perforant path (PP) با فرکانس بالا، کارآیی سیناپسی را برای روزها یا هفته‌ها افزایش می‌دهد [۲۲].

از آن‌جا که تاکنون نتیجه قطعی اثر امواج بر حافظه به اثبات نرسیده و هرگونه اختلال کوچک در فرآیند حافظه آثار جبران‌ناپذیری را به دنبال خواهد داشت، در ادامه تحقیقات انجام شده توسط این گروه [۲۳،۲۴]، ناحیه هیپوکامپ به‌عنوان بخشی از بافت مغزی که با حافظه ارتباط دارد انتخاب شد، تا احتمال تغییر کارآیی سیناپسی سلول‌های عصبی بافت هیپوکامپ پس از تابش امواج الکترومغناطیسی ۹۵۰ مگاهرتز (به‌عنوان فرکانس میانه باند فرکانسی آنتن‌های گیرنده/فرستنده مخابرات) مورد بررسی قرار گیرد.

از این رو هدف اصلی این مطالعه تجربی، بررسی اثر ۱۰ جلسه تابش‌گیری با امواج ۹۵۰ مگاهرتز ناشی از آنتن‌های گیرنده/فرستنده تلفن همراه بر تقویت طولانی‌مدت (LTP) ناحیه هیپوکامپ مغز موش بزرگ آزمایشگاهی است.

مواد و روش‌ها

حیوان. در این مطالعه تجربی، ۳۲ رأس موش بزرگ آزمایشگاهی مذکر از نژاد Wistar با سنی حدود ۳ ماه و وزن ۱۵±۲۲۰ گرم در سه گروه مورد استفاده قرار گرفت: تابش‌گیری کاذب (n=۸) و تابش‌گیری با امواج ۹۵۰ مگاهرتز پیوسته (n=۸). تابش‌گیری با امواج ۹۵۰ مگاهرتز مدوله (n=۸) و تابش‌گیری با امواج ۹۵۰ مگاهرتز همراه با مدولاسیون و پهنای باند ۲۰۰ کیلوهرتز یا امواج GSM (n=۸). حیوانات در طول دوره آزمایش در محیطی با دمای ثابت ۲۱ درجه سانتی‌گراد و سیکل ثابت شبانه‌روزی 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.

میدان الکترومغناطیسی. از یک دستگاه شبیه‌ساز امواج تلفن همراه که در دانشگاه خواجه نصیر طوسی ایران طراحی و ساخته شده، برای ایجاد امواج ۹۵۰ مگاهرتز با پالس ۲۱۷ هرتز و پهنای باند ۲۰۰ کیلوهرتز استفاده گردید. آنتن دستگاه در مرکز یک محفظه استوانه‌ای از جنس پلاستیک و با قطر ۳۰ سانتی‌متر ثابت گردید و حیوان می‌توانست آزادانه در اطراف آنتن حرکت نماید. به منظور جلوگیری از تابش‌گیری ناخواسته از ناحیه Reactive میدان نزدیک امواج، شبکه‌ای از جنس پلاستیک و با شعاع ۵ سانتی‌متر به‌عنوان محافظ آنتن

Archive of SID

www.SID.ir

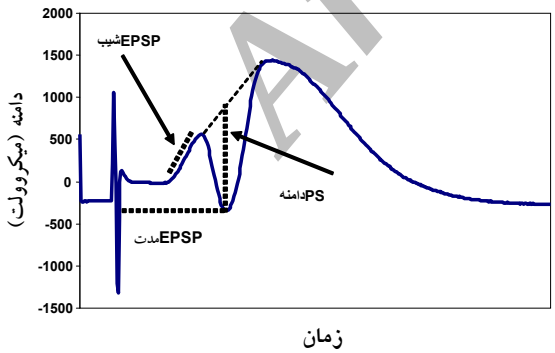
نصب شد. پس از سنجش میانگین چگالی توان در داخل محفظه با دستگاه RF radiation meter (Narda 8716)، میانگین اندازه میدان الکتریکی در اطراف آنتن برابر ۵۰/۴V/m به‌دست آمد. می‌توان دریافت که میدان ایجاد شده توسط دستگاه شبیه‌ساز، دارای میدان الکتریکی کم‌تر از حد مجاز برای کارکنان (۹۰V/m) و بیش‌تر از حد مجاز برای افراد جامعه (۴۱/۲۵ V/m) می‌باشد. هم‌چنین شدت میدان الکتریکی مورد استفاده در این آزمایش، برابر با اندازه میدان الکتریکی به‌کار گرفته شده در آزمایش Tattersall است [۲۱].

برنامه تابش‌دهی به صورتی تنظیم شد که هر حیوان در مدت ۳ روز برای ۱۰ جلسه ۴۵ دقیقه‌ای مورد تابش‌دهی قرار گیرد. شرایط آزمایش در گروه‌ها کاملاً یک‌سان انتخاب شد و تنها در گروه تابش‌دهی کاذب، دستگاه تولید امواج در زمان حضور حیوان در محفظه خاموش بود.

الکترودگذاری. بلافاصله پس از پایان تابش‌دهی، هر حیوان با تزریق داخل صفاقی داروی Urethane (۱/۵g/kg) بی‌هوش شده، سپس در دستگاه استریوتاکسی قرار می‌گرفت و پس از برداشتن پوست جمجمه، محل ورود الکترودها در دو ناحیه Perforant path با مختصات AP: -۶/۸ mm، L: ۴/۱mm و DV: ۳ mm و Dentate Gyrus با مختصات AP: -۲/۸ mm، L: ۱/۸ mm و DV: ۳/۲ mm [۱۹] در نیم‌کره راست مغز علامت‌گذاری شده و با کمک یک مته کوچک سوراخ می‌شد. به منظور ایجاد تحریک در ناحیه Perforant path (PP) یک الکترود دو قطبی، از جنس نقره با پوششی از تفلون (با قطر ۱۲۵ میکرون)، وارد مغز شده، سپس یک میکروالکترود شیشه‌ای با امپدانس ۳-۱ MΩ با سرم فیزیولوژیک پر شده، برای ثبت سیگنال LTP در لایه یاخته‌های گرانوله‌ای Dentate Gyrus (DG) در نیم‌کره راست مغز قرار داده می‌شد [۲۵]. الکترود مرجع یا غیرفعال برای ثبت، از جنس نقره و با ضخامت ۲۵۰ میکرون بود که زیر پوست حیوان قرار می‌گرفت. الکترود ثبات و مرجع، به دستگاه آمپلی‌فایر(ISO 80) و الکترود تحریکی به دستگاه تحریک کننده (A 310 Accupulser) وصل می‌شد.

ثبت سیگنال. به منظور ایجاد پتانسیل‌های برانگیخته میدانی در ناحیه DG، بخش PP با تک پالس‌های مربعی مونوفازیک (۰/۱ هرتز، ۲۰۰ میکروثانیه) به‌وسیله دستگاه تحریک کننده، تحریک شد. سپس دامنه (Population spike یا PS) در صفحه نمایش اسیلوسکوپ، به ۵۰ درصد مقدار ماگزیمم رسیده و با عنوان TS (Test stimulus) برای ایجاد LTP مورد استفاده قرار گرفت. برای ثبت فعالیت پایه، سه ثبت در زمان‌های صفر، ۵- و ۱۵- انجام شد و بلافاصله برای ایجاد LTP، دو قطار موج مربعی۲۵۰ هرتز با طول یک ثانیه در فاصله ۳۰ ثانیه و با شدتی برابر TS به PP اعمال [۲۶،۲۷] و پس از ایجاد LTP، پتانسیل‌های برانگیخته مجدداً با تحریکات تک‌پالسی (۰/۱ Hz)، در ۶ مرحله (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه) ثبت شد. همان‌طور که در تصویر ۱ نشان داده شده، معیارهای ارزیابی سیگنال عبارت بودند از: دامنه PS، شیب EPSP و مدت بین تحریک اعمال شده و پیک منفی LTP به‌عنوان مدت EPSP Duration، به منظور بررسی بقا (Maintenance)، شیب EPSP در هر نقطه، با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد و مورد استفاده قرار گرفت.

$$\text{درصد بقا} = \frac{\text{مقدار آخرین ثبت} - \text{مقدار اولین ثبت}}{\text{مقدار اولین ثبت}} \times ۱۰۰$$



تصویر ۱. نمونه‌ای از پتانسیل میدانی ثبت شده در ناحیه DG و پارامترهای ارزیابی LTP.

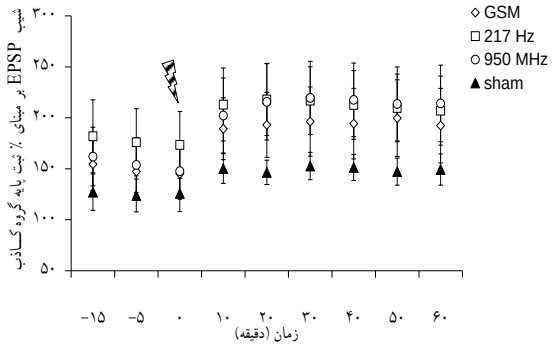
Archive of SID
www.SID.ir

کلیه داده‌های ثبت شده با استفاده از آزمون آماری One way ANOVA مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج

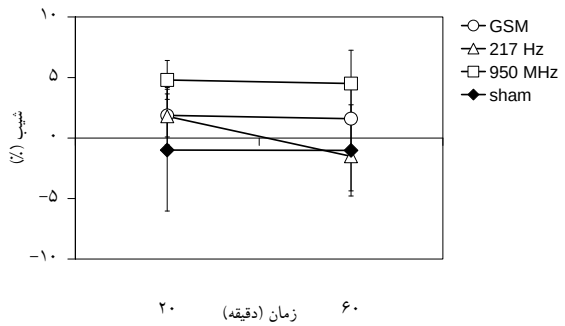
یافته‌های حاصل از این آزمایش را می‌توان بر اساس معیارهای ارزیابی به شرح ذیل بررسی نمود:

الف) شیب EPSP: آنالیز آماری یافته‌ها اختلاف معنی‌داری را بین گروه‌های آزمایشی (۹۵۰ مگاهرتز پیوسته، گروه مدوله شده ۲۱۷ هرتز و گروه GSM) با گروه تابش‌گیری کاذب نشان نداد ($P>0/05$). گرچه میانگین گروه واجد مدولاسیون ۲۱۷ هرتز با گروه تابش‌دهی کاذب زیاد به نظر می‌رسید، اما در حدی نبود که بتوان با اطمینان ۹۵٪ اختلاف آماری آن‌ها را بیان نمود. تصویر ۲ نمایانگر شیب EPSP در گروه‌های آزمایشی است. با بررسی بقای شیب EPSP یا Maintenance مشخص گردید که شیب حاصل در تمامی گروه‌های این بخش از آزمون یک‌سان بوده و اختلاف آماری معنی‌داری بین نتایج وجود ندارد.



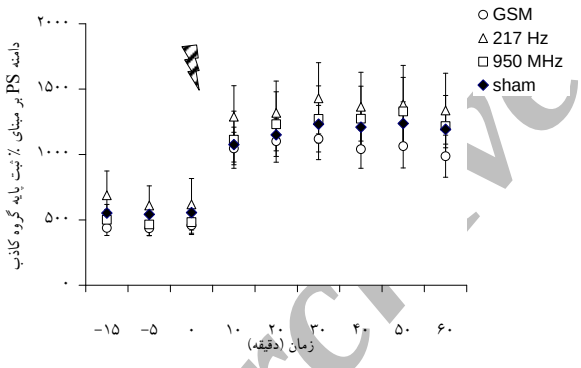
تصویر ۲. شیب EPSP در گروه‌های آزمایشی. آنالیز آماری یافته‌ها اختلاف معنی‌داری را بین گروه‌های آزمایشی (۹۵۰ مگاهرتز پیوسته، گروه مدوله شده ۲۱۷ هرتز و گروه GSM) با گروه تابش‌گیری کاذب (Sham) نشان نداد.

تصویر ۳ نمایانگر بقای شیب EPSP در گروه‌های آزمایشی است.



تصویر ۳. بقای شیب EPSP در گروه‌های آزمایشی، شیب حاصل در تمامی گروه‌های آزمون یک‌سان بوده و اختلاف آماری معنی‌داری بین نتایج وجود ندارد.

ب) دامنه PS: آنالیز آماری یافته‌ها با استفاده از آزمون ANOVA اختلاف معنی‌داری را در دامنه PS گروه‌های آزمایشی (۹۵۰ مگاهرتز پیوسته، گروه مدوله شده ۲۱۷ هرتز و گروه GSM) با گروه تابش‌گیری کاذب نشان نداد. تصویر ۴، دامنه PS در گروه‌های آزمایشی را نشان می‌دهد.

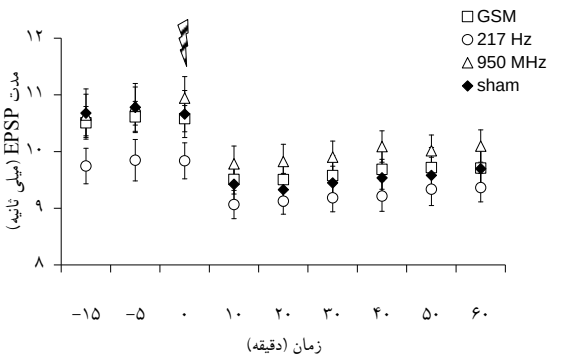


تصویر ۴. دامنه PS در گروه‌های آزمایشی. آنالیز آماری یافته‌ها اختلاف معنی‌داری را در دامنه PS گروه‌های آزمایشی با گروه تابش‌گیری کاذب نشان نداد.

ج) مدت EPSP: آنالیز آماری یافته‌ها اختلاف معنی‌داری را در فاصله زمانی گروه‌های آزمایشی (۹۵۰ مگاهرتز پیوسته، گروه مدوله شده ۲۱۷ هرتز و گروه GSM) با گروه تابش‌گیری کاذب نشان نداد. تصویر ۵ مدت EPSP در گروه‌های آزمایشی را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



تصویر ۵. مدت EPSP در گروه‌های آزمایشی. آنالیز آماری یافته‌ها اختلاف معنی‌داری را در فاصله زمانی گروه‌های آزمایشی با گروه تابش‌گیری کاذب نشان نداد.

بحث و نتیجه‌گیری

امواج الکترومغناطیسی تلفن همراه و آنتن‌های گیرنده فرستنده آن، موجب افزایش بسیار اندک دمای مغز شده، از این رو آثار بیولوژیکی سیستم تلفن همراه ناشی از اثرات غیرحرارتی می‌باشد [۲۸]. اطلاعات به‌دست آمده از این تحقیق بیان‌گر آن است که ۱۰ جلسه تابش‌گیری ۴۵ دقیقه‌ای با امواج ۹۵۰ مگاهرتز آنتن گیرنده فرستنده تلفن همراه GSM تأثیری بر کارآیی سیناپسی ناحیه هیپوکمپ مغز موش بزرگ آزمایشگاهی ندارد. یافته‌های این آزمون مشابه نتایج آزمایشات, Sienkiewicz Dubreuil با میدان الکترومغناطیسی ۹۰۰ مگاهرتز و اثر بر حافظه فضایی و غیرفضایی است [۱۶،۱۵،۱۸]. هر چند شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهند LTP زیربنای حافظه است، ولی همیشه LTP برابر با حافظه نیست [۲۱]. شاید LTP یکی از مکانیسم‌های درگیر در حافظه باشد که نقش مهمی در حافظه بازی می‌کند، ولی به طور قطع تنها مکانیسم نیست. از طرف دیگر نقش LTP در ساختارهای مختلف مغزی در حافظه متفاوت است.

Mauset-Bonnefont توانست ثابت نماید که پس از تابش امواج ۹۰۰ مگاهرتز با شدت زیاد، مقدار گیرنده‌های NMDA و GABA تغییر می‌کند [۲۹]، بدین ترتیب احتمال تغییر پارامترهای LTP وجود دارد، ولی، از آن‌جا که نتایج حاصل از این تحقیق با فرکانس، چگالی توان و مدت تابش‌دهی متفاوتی انجام شده، نمی‌توان انتظار داشت که تغییر پارامترهای LTP در هر آزمایشی ظاهر شود.

عدم تأثیر امواج بر پارامترهای LTP در شدت میدان الکتریکی ۵۰V/m نشان دهنده تفاوت بین نتایج این تحقیق با نتیجه آزمایش انجام شده توسط Tattersall می‌باشد [۲۱]. اگر چه او در فرکانس و شدت‌های مختلف اثری را مشاهده نکرد، ولی تنها در فرکانس ۹۰۰ مگاهرتز و شدت میدان ۵۰V/m دامنه PS افزایش یافت. هرچند شدت میدان الکتریکی به‌کار گرفته شده در این آزمایش با آزمون Tattersall یک‌سان انتخاب شد، اما باید در نظر داشت که در آزمون Tattersall، انرژی امواج فقط در برشی از بافت به ضخامت ۴۰۰ میکرومتر جذب شده درحالی‌که در این تحقیق به‌دلیل In vivo بودن آزمون، انرژی اختصاصی باید در تمام بدن حیوان، جمجمه و تمام مغز جذب گردد؛ از این رو اثر امواج کاهش خواهد یافت. ثانیاً در یک تحقیق In vivo، ثبت سیگنال هم‌زمان با اعمال میدان الکترومغناطیسی امکان‌پذیر نبوده و به دلیل وجود وقفه زمانی بین تابش‌گیری و ثبت سیگنال، تغییرات اعمال شده در سیگنال LTP، هم‌زمان با تابش امواج قابل سنجش نیست. عامل مهم تأثیرگذار در اجرای این آزمون، وجود الکترودهای فلزی در ناحیه PP است که در صورت تابش امواج، نویزهایی را در سیگنال‌های ثبتی ایجاد می‌کند، از این رو احتمال حذف تغییرات ایجاد شده در سیگنال LTP را با گذشت زمان، نباید از نظر دور داشت.

Pakhomov نیز اثر امواج بسیار پرقدرت با فرکانس ۹/۳ گیگاهرتز را بر عمل‌کرد شبکه عصبی در برش هیپوکمپ موش بررسی کرد. تنها نتیجه، کاهش موقت دامنه PS و متناسب با افزایش دما بود [۳۰]. از این رو اثر ایجاد شده یک اثر حرارتی و خارج از محدوده تلفن همراه می‌باشد.

نتایج تحقیق حاضر بیان‌گر آن است که تابش‌گیری‌های کوتاه مدت، امواج الکترومغناطیسی تابشی از آنتن‌های گیرنده فرستنده تلفن همراه نمی‌تواند تأثیری بر کارآیی سیناپسی ناحیه هیپوکمپ داشته باشد. گرچه میزان تابش‌گیری در مناطق نزدیک آنتن در برخی از مطالعات کم‌تر از حد مجاز

Archive of SID

www.SID.ir

تعیین شده توسط ICNIRP می‌باشد، اما به‌دلیل آن‌که به نظر می‌رسد شدت و دوره تابش‌گیری عوامل مؤثری برای بروز اثرات میدان الکترومغناطیسی بر حافظه هستند، احتمال بروز آثار را در افرادی که در نزدیک آنتن‌ها زندگی می‌کنند نباید از نظر دور داشت. از این رو با توجه به افزایش سریع کاربران تلفن همراه و نصب آنتن‌های بیش‌تر در مناطق شهری، اطلاعات بیش‌تری در خصوص اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی بر مغز انسان مورد نیاز بوده و ضرورت اجرای آزمون‌های تکمیلی، احساس می‌شود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مسئولین محترم مرکز تحقیقات مخابرات ایران، به‌دلیل حمایت مالی از پروژه و دانشگاه‌های تربیت مدرس و علوم پزشکی سمنان به سبب فراهم‌سازی امکانات لازم برای اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

[1] Sicard E, Delmas-Bendhia S. Introduction to GSM. Techonline Publication. 2001, Sep. 20. Available From: URL: http://www.techonline.com/article/192200685;jsessionid=PIPLMZVWISSKSQSNDLRCKHSCJUNN2JVN.

[2] Croft R, Chandler J, Burgess A, Barry R, Williams J, Clarke A. Acute mobile phone operation affects neural function in humans. Clin Neurophysiol, 2002; 113:1623-32.

[3] Haarala C, Bjornberg L, Ek M, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, et al. Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: A replication study. Bioelectromagnetics, 2003; 24(4):283-8.

[4] Hermann DM, Hossmann KA. Neurological effects of microwave exposure related to mobile communication. J Neurol Sci, 1997; 152(1):1-14.

[5] Hocking B, Westerman R. Neurological abnormalities associated with CDMA exposure. Occup Med (Lond), 2001; 51(6):410-3.

[6] Hocking B, Westerman R. Neurological effects of radiofrequency radiation. Occup Med (Lond), 2003; 53(2):123-7.

[7] 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(8):1641-3.

[8] Koivisto M, Revonsuo A, Krause C, Haarala C, Sillanmaki L, Laine M, et al. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. Neuroreport, 2000; 11(2):413-5.

[9] Lai H. Interaction of microwaves and a temporally incoherent magnetic field on spatial learning in the rat. Physiol Behav, 2004; 82(5):785-9.

[10] Lai H, Horita A, Guy AW. Microwave irradiation affects radial-arm maze performance in the rat. Bioelectromagnetics, 1994; 15(2):95-104.

[11] 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):937-44.

[12] Mann K, Wagner P, Brunn G, Hassan F, Hiemke C, Roschke J. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. Neuroendocrinology, 1998; 67(2):139-44.

[13] 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.

[14] Cosquer B, Galani 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.

[15] Dubreuil D, Jay T, Edeline JM. Does head-only exposure to GSM-900 electromagnetic fields affect the performance of rats in spatial learning tasks? Behav Brain Res, 2002; 129(1-2):203-10.

[16] 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(1-2):51-61.

[17] Preece AW, Iwi G, Davies-Smith A, Wesnes K, Butler S, Lim E, et al. Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. Int J Radiat Biol, 1999; 75(4):447-56.

[18] 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(3):151-8.

[19] Milner B, Squire LR, Kandel ER. Cognitive neuroscience and the study of memory. Neuron, 1998; 20(3):445-68.

[20] Morris RG, Garrud P, Rawlins JN, O'Keefe J. Place navigation impaired in rats with hippocampal lesions. Nature, 1982; 297(5868):681-3.

[21] Tattersall JE, Scott IR, Wood SJ, Nettell JJ, Bevir MK, Wang Z, et al. Effects of low intensity radiofrequency electromagnetic fields on electrical activity in rat hippocampal slices. Brain Res, 2001; 904(1):43-53.

[22] Shors TJ, Matzel LD. Long-term potentiation: what's learning got to do with it? Behav Brain Sci, 1997; 20(4):597-614.

[۲۳] جدیدی مجید، فیروزآبادی سیدمحمد، رشیدی‌پور علی، بلوری بهرام، فتح‌الهی یعقوب. بررسی اثر تابش حاد امواج ۹۵۰ MHz سیستم تلفن همراه GSM بر تثبیت حافظه فضایی در موش بزرگ آزمایشگاهی. کومش (مجله دانشگاه علوم پزشکی سمنان)، ۱۳۸۴؛ جلد۶، شماره ۴: صفحات ۳۱۰-۳۰۵.

[۲۴] جدیدی مجید، فیروزآبادی سیدمحمد، رشیدی‌پور علی، بلوری بهرام، فتح‌الهی یعقوب. بررسی اثر امواج ۹۵۰ MHz سیستم تلفن همراه GSM بر اکتساب حافظه فضایی موش بزرگ آزمایشگاهی در ماز آبی موریس. کومش (مجله دانشگاه علوم پزشکی سمنان)، ۱۳۸۴؛ جلد۷، شماره ۱و۲: صفحات ۲۶-۱۹.

[25] Frey S, Bergado-Rosado J, Seidenbecher T, Pape HC, Frey JU. Reinforcement of early long-term potentiation (early-LTP) in dentate gyrus by stimulation of the basolateral amygdala: heterosynaptic induction mechanisms of late-LTP. J Neurosci, 2001; 21(10):3697-703.

[26] Kelly A, Lynch A, Vereker E, Nolan Y, Queenan P, Whittaker E, et al. The anti-inflammatory cytokine, interleukin (IL)-10, blocks the inhibitory effect of IL-1 beta on long term potentiation. A role for JNK. J Biol Chem, 2001; 276(49):45564-72.

[27] 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(1):215-24.

[28] 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. Clin Chim Acta, 2004; 340(1-2):153-62.

[29] Mausset-Bonnefont AL, Hirbec H, Bonnefont X, Privat A, Vignon J, de Seze R. Acute exposure to GSM 900-MHz electromagnetic fields induces glial reactivity and biochemical modifications in the rat brain. Neurobiol Dis, 2004; 17(3):445-54.

[30] 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):174-81.

Archive of SID

www.SID.ir