تاثیر امواج ۹۵۰ مگاهرتز تلفن همراه بر تقویت طولانی مدت در هیپوکمپ

مجید جدیدی [*۱](Ph.D)، سید محمد فیروزآبادی [۲](Ph.D)، علی رشیدی‌پور [۳](Ph.D)، بهرام بلوری [۴](Ph.D)، یعقوب فتح‌الهی [۵](Ph.D)

۱- *دانشگاه علوم پزشکی سمنان، دانشکده پزشکی، گروه فیزیک پزشکی*

۲- *دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده پزشکی، گروه فیزیک پزشکی*

۳- *دانشگاه علوم پزشکی سمنان، دانشکده پزشکی، مرکز تحقیقات فیزیولوژی، گروه فیزیولوژی*

۴- *دانشگاه علوم پزشکی ایران، دانشکده پزشکی، گروه فیزیک پزشکی*

۵- *دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده پزشکی، گروه فیزیولوژی*

چکیده

سابقه و هدف: اغلب افراد جامعه به‌طور ناخواسته تحت تاثیر امواج تولیدی از آنتن‌های گیرنده/ فرستنده تلفن همراه هستند. این مطالعه in vivo به منظور بررسی نتایج حاصل از تابش امواج ۹۵۰ مگاهرتز سیستم تلفن همراه GSM بر تقویت طولانی‌مدت (Long-term potentiation, LTP) ناحیه Dentate gyrus صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: ۳۲ راس موش بزرگ آزمایشگاهی مذکر از نژاد ویستار با سنی حدود ۳ ماه و وزن ۱۵±۲۲۰ گرم، به‌طور تصادفی به چهار گروه شامل: ثبت LTP بلافاصله پس از تابش‌گیری کاذب، ثبت LTP بلافاصله پس از تابش‌گیری با امواج GSM، ثبت LTP سه ساعت پس از تابش‌گیری کاذب و ثبت LTP سه ساعت پس از تابش‌گیری با امواج 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 ۶۰ V/m). پس از تابش‌دهی و به منظور القای LTP، بی‌هوشی انجام شده و پتانسیل‌های میدانی برای ۶۰ دقیقه ثبت و دامنه PS، شیب EPSP و زمان تاخیری تا بروز اسپایک مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: آنالیز آماری داده‌های آزمون، اختلاف معنی‌داری در دامنه PS و زمان تاخیری تا بروز اسپایک در هنگام ثبت LTP بلافاصله پس از تابش‌دهی با امواج ۹۵۰ مگاهرتز نشان نداد، در حالی‌که این شاخص‌ها در سیگنال‌های ثبت‌شده، سه ساعت پس از تابش‌دهی با امواج GSM، دارای اختلاف معنی‌داری بود.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل بیانگر آن بود که تابش‌گیری تمام بدن با امواج ۹۵۰ مگاهرتز سیستم تلفن همراه GSM، بر شاخص‌های اندازه‌گیری LTP هیپوکمپ مغز موش بزرگ آزمایشگاهی موثر است.

واژه‌های کلیدی: میدان الکترومغناطیسی، آنتن گیرنده فرستنده، هیپوکمپ، تقویت طولانی‌مدت

مقدمه

با افزایش روزافزون سیستم‌های مخابراتی, نصب آنتن‌های گیرنده فرستنده در نقاط مختلف شهرها رو به افزایش است. هر چند افرادی که از گوشی تلفن همراه استفاده می‌نمایند به‌طور آگاهانه خود را در معرض تابش امواج ناشی از گوشی قرار می‌دهند، اما اغلب افراد جامعه به‌طور ناخواسته تحت

* نویسنده مسئول، تلفن: ۴۴۴۸۹۹۸ -۰۲۳۱ نمابر: ۴۴۴۸۹۹۹-۰۲۳۱ Email: Jadidim@sem-ums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۱۹

Archive of SID
www.SID.ir

تاثیر امواج تولیدی از آنتن‌ها هستند. سیستم تلفن همراه GSM ۹۰۰ که در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد از طریق آنتن‌های گیرنده/فرستنده مخابرات (BS) با فرکانس ۹۶۰-۹۳۵ مگاهرتز و همراه با پالسی ۲۱۷ هرتز (فرکانس مدولاسیون) در یک پهنای باند ۲۰۰ کیلوهرتز اطلاعات را به گوشی تلفن همراه ارسال می‌نماید [۱]. از این‌رو مطالعات مختلفی که بر بررسی آثار پرتوهای الکترومغناطیسی بر عملکرد سیستم عصبی و حافظه انسان و حیوانات معطوف گشته صورت گرفته است. لاکن با توجه به شرایط مختلف آزمایشات و مکان‌های غیر هم‌سان تحقیق, آثار متفاوتی به‌دست آمده و تنها نتایج برخی مطالعات بیانگر اختلال در عملکرد حافظه پس از تابش‌گیری با میدان‌های الکترومغناطیسی است [۱۲-۲] در حالی‌که در تعدادی از مقالات به چاپ رسیده, تابش امواج ۹۰۰ یا ۲۴۵۰ مگاهرتز تاثیری بر یادگیری و حافظه نداشته است [۱۸-۱۳].

هیپوکامپ یکی از بخش‌های مهم مغز در شکل‌گیری حافظه است و بر اساس شواهد به‌دست آمده در مطالعات دانش‌مندان, این ساختار نقش مهمی در حافظه فضایی جوندگان دارد [۲۰،۱۹]. از این‌رو احتمالاً هر تغییری در عملکرد بافت هیپوکمپ, می‌تواند باعث بروز تغییرات رفتاری و عملکرد حافظه در انسان و حیوانات گردد.

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 LTP برای اولین بار توسط Lomo در سال ۱۹۶۶ مورد استفاده قرار گرفت. او و همکارش Bliss در هنگام کار با هیپوکمپ مغز خرگوش دریافتند که چند ثانیه تحریک الکتریکی ناحیه PP با فرکانس بالا، کارآیی سیناپسی را برای روزها یا هفته‌ها افزایش می‌دهد [۲۲].

از آن‌جا که تاکنون نتیجه قطعی اثر امواج ناشی از تلفن همراه بر حافظه به اثبات نرسیده و هر گونه اختلال کوچک در فرایند حافظه آثار جبران‌ناپذیری را به دنبال خواهد داشت، در ادامه تحقیقات انجام شده توسط این گروه و عدم تاثیر امواج ۹۵۰ مگاهرتز پیوسته، ۹۵۰ مگاهرتز با مدولاسیون و ۹۵۰ مگاهرتز GSM با شدت میدان الکتریکی ۵۰/۴ V/m بر LTP [۲۳] و کاهش امپدانس الکتریکی بافت هیپوکمپ توسط امواج ۹۵۰ مگاهرتز GSM در چگالی توان ۱/۱۶۶ میلی‌وات بر سانتی‌متر مربع [۲۴]، ناحیه هیپوکمپ به‌عنوان بخشی از بافت مغزی که با حافظه ارتباط دارد انتخاب شد تا احتمال تغییر سیگنال‌های سلول‌های عصبی بافت هیپوکمپ پس از تابش امواج الکترومغناطیسی ۹۵۰ مگاهرتز (به‌عنوان فرکانس میانه باند فرکانسی آنتن‌های گیرنده/فرستنده مخابرات) مورد بررسی قرار گیرد.

از آن‌جا که در مطالعه اولیه تاثیر امواج GSM بر شیب EPSP در شدت میدان الکتریکی ۶۰ V/m به اثبات رسید [۲۵]، از این‌رو هدف این مطالعه تجربی، بررسی اثر امواج ۹۵۰ مگاهرتز GSM بر تغییرات سیگنال LTP ناحیه هیپوکمپ مغز موش بزرگ آزمایشگاهی با در نظر گرفتن زمان ثبت سیگنال (بلافاصله از تابش‌گیری و سه ساعت پس از تابش‌گیری) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

حیوان. در این مطالعه تجربی، ۳۲ راس موش بزرگ آزمایشگاهی مذکر از نژاد ویستار با سنی حدود ۳ ماه و وزن ۱۵+۲۲۰ گرم در پنج گروه مورد استفاده قرار گرفت: ثبت LTPبلافاصله پس از تابش‌گیری کاذب (n=۸)، ثبت LTP بلافاصله پس از تابش‌گیری با امواج GSM (n=۸)، ثبت LTP سه ساعت پس از تابش‌گیری کاذب (n=۸) و ثبت LTP سه ساعت پس از تابش‌گیری با امواج GSM (n=۸).

حیوانات در طول دوره آزمایش در محیطی با دمای ثابت ۲۱°C 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.

Archive of SID

www.SID.ir

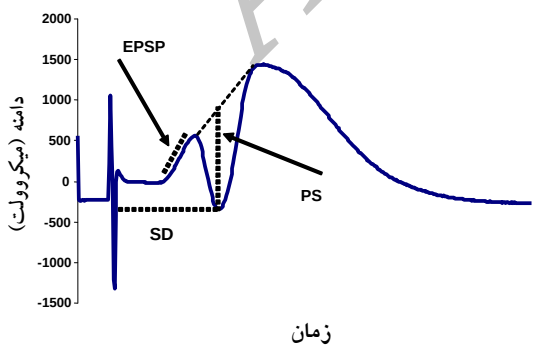
میدان الکترومغناطیسی. مشابه آزمون‌های قبلی [۲۵-۲۳]، از یک دستگاه شبیه‌ساز امواج تلفن همراه برای ایجاد امواج ۹۵۰ مگاهرتز با پالس ۲۱۷ هرتز و پهنای باند ۲۰۰ کیلوهرتز و شرایط آزمون‌های قبلی برای تابش‌دهی استفاده شد. پس از سنجش میانگین چگالی توان در داخل محفظه با دستگاه RF radiation meter (Narda 8716)، میانگین اندازه میدان الکتریکی در اطراف آنتن برابر ۶۰ V/m به‌دست آمد. می‌توان دریافت که میدان ایجاد شده توسط دستگاه شبیه‌ساز، دارای میدان الکتریکی کم‌تر از حد مجاز برای کارکنان (۹۰ V/m) و بیش‌تر از حد مجاز برای افراد جامعه (۴۱/۲۵ V/m) می‌باشد. هم‌چنین شدت میدان الکتریکی مورد استفاده در این آزمایش نزدیک به اندازه میدان الکتریکی به‌کار گرفته شده در آزمایش Tattersall [۲۱] است.

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 به میزان ۱/۵g/Kg بی‌هوش شده سپس در دستگاه استریوتاکسی قرار گرفت و پس از برداشتن پوست جمجمه، الکترودها در دو ناحیه PP و لایه یاخته‌های گرانوله‌ای DG قرار داده شد. مختصات نقاط الکترودگذاری شده مطابق با مطالعات قبلی این گروه [۲۵-۲۳] انتخاب شد. الکترود مرجع یا غیر فعال برای ثبت، از جنس نقره و با ضخامت ۲۵۰ میکرون بود که زیر پوست حیوان قرار گرفت. الکترود ثبات و مرجع، به دستگاه آمپلی‌فایر (ISO 80) و الکترود تحریکی به دستگاه تحریک‌کننده Accupulser (A 310) وصل شد.

ثبت سیگنال. به منظور ایجاد پتانسیل‌های برانگیخته میدانی در ناحیه DG، بخش PP با تک‌پالس‌های مربعی مونوفازیک (۰/۱ هرتز، ۲۰۰ میکروثانیه) به‌وسیله دستگاه تحریک‌کننده، تحریک شد. تحریک ناحیه PP با شدت جریان‌های مختلف بین ۲/۵ تا ۳/۵ میلی‌آمپر انجام می‌شد تا پتانسیل میدانی ایجاد شده در پاسخ به موج تحریکی به حداکثر خود می‌رسید. سپس دامنه PS در صفحه نمایش اسیلوسکوپ، به ۵۰ درصد مقدار ماگزیمم رسیده و با عنوان TSبرای ایجاد LTP مورد استفاده قرار گرفت. پاسخ برانگیخته ایجاد شده توسط TS، پس از تقویت Gain=۱۰۰، با استفاده از فیلتر پالایش شده (Low Pass= 3 KHz, High Pass= 5 Hz) و پس از نمونه‌برداری با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز، در کامپیوتر ضبط و ذخیره گردید.

رای ثبت فعالیت پایه، سه ثبت در زمان‌های ۰ و ۵- و ۱۵- انجام شده و بلافاصله برای ایجاد LTP، دو قطار موج مربعی ۲۵۰ هرتز با طول یک ثانیه در فاصله ۳۰ ثانیه و با شدتی برابر TS به PP اعمال شد [۲۶،۲۷]. پس از ایجاد LTP، پتانسیل‌های برانگیخته مجدداً با تحریکات تک‌پالسی (۰/۱Hz) در ۶ مرحله (۶۰،۵۰،۴۰،۳۰،۲۰،۱۰ دقیقه) ثبت شد. اطلاعات هر سیگنال حاصل میانگین‌گیری از ۵ ثبت بود که توسط دستگاه محاسبه شده و ترسیم می‌شد. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده، معیارهای ارزیابی سیگنال عبارت بودند از: دامنه PS، شیب EPSP و مدت بین تحریک اعمال شده و اسپایک به‌عنوان زمان تاخیری تا بروز اسپایک SDT کلیه داده‌های ثبت شده با استفاده از آزمون آماری One way ANOVA مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.



شکل ۱. نمونه ای از پتانسیل میدانی ثبت شده در ناحیه DG و پارامترهای ارزیابی LTP.

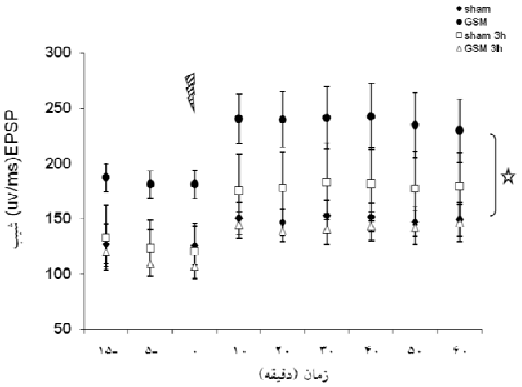
نتایج

Archive of SID

www.SID.ir

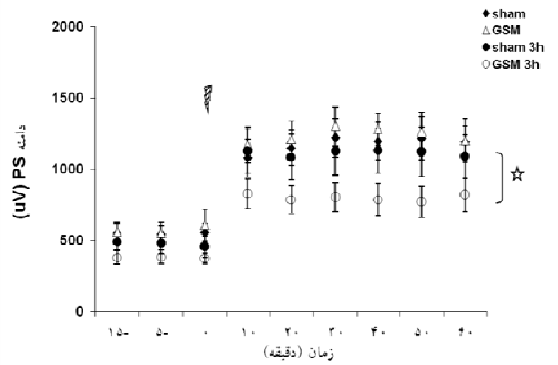
یافته‌های حاصل از این آزمایش را می‌توان بر اساس معیارهای ارزیابی به شرح ذیل بررسی نمود.

الف) شیب EPSP: آنالیز آماری یافته‌ها اختلاف معنی‌داری را بین گروه آزمایشی GSM با گروه تابش‌گیری کاذب نشان داد (P<۰/۰۵). اما نکته قابل ذکر این است که در گروه آزمایشی ثبت LTP سه ساعت پس از تابش‌گیری با امواج GSM در مقایسه با گروه کاذب خود، شیب EPSP تغییری نداشت و با آنالیز آماری، اختلاف معنی‌داری بین نتایج دو گروه مشاهده نشد (P>۰/۰۵). شکل ۲ نمایانگر شیب EPSP در گروه‌های آزمایشی است.



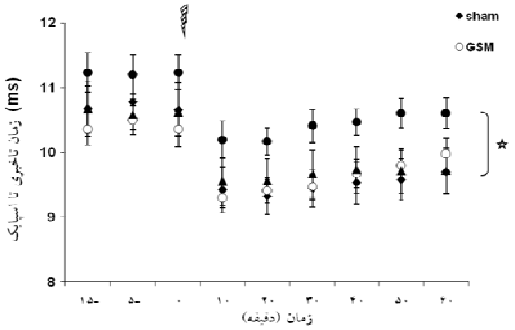
شکل ۲. شیب EPSP در گروه های آزمایشی. آنالیز آماری یافته ها اختلاف معنی داری را در شیب EPSP گروه آزمایشی GSM با گروه تابش گیری کاذب نشان داد (P< 0.05) . اما با ثبت LTP سه ساعت پس از تابش گیری اختلاف معنی داری بین شیب EPSP گروه GSM و گروه تابش گیری کاذب ایجاد نشد (P> 0.05) .

ب) دامنه PS: آنالیز آماری یافته‌ها اختلاف معنی‌داری را در دامنه PS گروه آزمایشی GSM با گروه تابش‌گیری کاذب نشان نداد (P>۰/۰۵). در گروه آزمایشی ثبت LTP سه ساعت پس از تابش‌گیری با امواج GSM در مقایسه با گروه کاذب خود، دامنه PS با کاهش مواجه شد. گرچه در ثبت اولیه و پیش از تحریک کزازی اختلاف با گروه تابش‌گیری کاذب در حد معنی‌دار نبوده (P=۰/۰۵۶) اما آنالیز سایر زمان‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار با گروه تابش‌گیری کاذب بود (P<۰/۰۵). شکل ۳ دامنه PS در گروه‌های آزمایشی را نشان می‌دهد.



شکل ۳ . دامنه PS در گروه های آزمایشی. آنالیز آماری یافته ها اختلاف معنی داری را در دامنه PS گروه آزمایشی GSM با گروه تابش گیری کاذب نشان نداد (P> 0.05) . اما با ثبت LTP سه ساعت پس از تابش گیری، اختلاف معنی داری بین دامنه PS گروه GSM و گروه تابش گیری کاذب ایجاد شد (P< 0.05) .

ج) زمان تاخیری تا بروز اسپایک (SDT): هر چند آنالیز آماری یافته‌ها، اختلاف معنی‌داری را در زمان تاخیری تا بروز اسپایک گروه آزمایشی GSM با گروه تابش‌گیری کاذب نشان نداد (P>۰/۰۵)، اما یافته‌های حاصل از ثبت LTP سه ساعت پس از تابش‌گیری بیانگر افزایش زمان تاخیری تا بروز اسپایک بوده و آنالیز یافته‌ها وجود اختلاف معنی‌دار با گروه تابش‌گیری کاذب را نشان داد (P<۰/۰۵). شکل ۴ زمان تاخیری تا بروز اسپایک SDT در گروه‌های آزمایشی را نشان می‌دهد.



شکل ۴. زمان تاخیری تا بروز اسپایک (SDT) : در گروه های آزمایشی آنالیز آماری یافته ها اختلاف معنی داری را در فاصله زمانی گروه آزمایشی GSM با گروه تابش گیری کاذب نشان نداد (P> 0.05). اما با ثبت LTP سه ساعت پس از تابش گیری، اختلاف معنی داری بین زمان تاخیری تا بروز اسپایک در گروه GSM و گروه تابش گیری کاذب ایجاد شد (P< 0.05) .

www.SID.ir

د) آنالیز آماری، بین زمان‌های مختلف ثبت سیگنال در ۶ مرحله (۶۰،۵۰،۴۰،۳۰،۲۰،۱۰ دقیقه)، اختلاف معنی‌داری را در هیچ‌کدام از گروه‌های آزمایشی نشان نداد (P>۰/۰۵).

بحث و نتیجه‌گیری

امواج الکترومغناطیسی تلفن همراه و آنتن‌های گیرنده فرستنده آن، موجب افزایش بسیار اندک دمای مغز شده، از این‌رو آثار بیولوژیکی سیستم تلفن همراه ناشی از اثرات غیر حرارتی می‌باشد [۲۸]. اطلاعات به‌دست آمده از این تحقیق بیانگر آن است که ۱۰ جلسه تابش‌گیری ۴۵ دقیقه‌ای با امواج ۹۵۰ مگاهرتز GSM با اندازه میدان الکتریکی ۶۰ V/m بر سیگنال‌های ثبت شده از ناحیه هیپوکمپ مغز موش بزرگ آزمایشگاهی موثر بوده، اما در سیگنال‌های ثبت شده پس از ۳ ساعت، دامنه PS کاهش و زمان تاخیری تا بروز اسپایک افزایش می‌یابد.

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 قطعاً تنها مکانیسم نیست. از این‌رو نمی‌توان انتظار داشت که تغییرات مشاهده شده در سیگنال‌های ناحیه هیپوکمپ باعث تغییرات رفتاری شدید و یا ضعف حافظه گردد. Mauset-Bonnefont ثابت نمود 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، لاکن، 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. تاثیر امواج بر پارامترهای LTP در شدت میدان الکتریکی ۶۰ V/m نشان‌دهنده شباهت نتایج این تحقیق با نتیجه آزمایش انجام شده توسط Tattersall می‌باشد [۲۱]. گرچه او در فرکانس و شدت‌های مختلف اثری را مشاهده نکرد، لاکن تنها در فرکانس ۹۰۰ مگاهرتز و شدت میدان ۵۰ V/m دامنه PS افزایش یافت. در این تحقیق نیز کاهش دامنه PS به ثبت LTP سه ساعت پس از تابش‌گیری مشاهده گردید. 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].

بعضی از محققان معتقدند که اثر میدان‌های مغناطیسی کم‌فرکانس با تغییر غلظت یون کلسیم داخل سلولی یا خارج سلولی ارتباط دارد [۳۵-۳۱]. هم‌چنین می‌توان گفت که اختلال در عمل‌کرد کورتکس مغز موش پس از تابش‌گیری با امواج الکترومغناطیسی می‌تواند ناشی از تاثیر امواج بر کانال‌های یون کلسیم و کلسیم متصل شده به پروتئین باشد [۳۶،۳۷]. از آن‌جا که یون کلسیم در سلول‌های عصبی نقش مهمی را در ایجاد پتانسیل عمل و انتقال سیگنال به عهده دارد، از این‌رو هر تغییر ایجاد شده در میزان یون کلسیم یا تاثیر میدان‌ها در جابه‌جایی این یون می‌تواند بر خصوصیات سیگنال موثر بوده و احتمالاً می‌تواند بر شیب EPSP اثر نماید.

در آزمایشات انجام شده در آزمایشگاههای مختلف مشخص شده که تابش‌گیری با امواج تلفن همراه موجب اختلال در سد خونی- مغزی (BBB) گردیده و این امر می‌تواند نفوذ مولکول‌های سنگین و آلبومین را به‌داخل مغز تسهیل نماید. این اثر پایدار بوده و حتی چند روز پس از تابش‌گیری قابل اندازه‌گیری است [۴۰-۳۸]. بدین ترتیب نمی‌توان انتظار داشت که سلول‌های عصبی عمل‌کردی مشابه سلول‌های مغز سالم داشته باشند. در صورت ایجاد تغییرات فوق، در آزمایش حاضر نیز نباید احتمال اختلال در سد خونی- مغزی و اثر آن بر دو شاخص PS و زمان تاخیری تا بروز اسپایک را از نظر دور داشت.

پس از تابش‌گیری به سختی می‌توان گفت که کدام بافت یا مولکول تحت تاثیر امواج قرار گرفته است. با توجه به احتمال آسیب‌های چند نقطه‌ای مولکولی، ایجاد واکنش‌های سلولی کوتاه‌مدت یا بلندمدت آبشاری دور از انتظار نخواهد بود

Archive of SID

www.SID.ir

[۴۱]. نباید فراموش کرد که نتیجه آزمون‌ها بستگی به شدت امواج مورد استفاده دارد [۴۲] به همین دلیل Curcio نشان داد که ۴۵ دقیقه تابش‌گیری با امواج تلفن همراه ۹۰۲GSM MHz هیچ تاثیری بر زمان پاسخ‌گویی افراد در آزمون‌ها نداشته و تصاویر تهیه شده توسط fMRI تغییری در عمل‌کرد لب آهیانه، اینسولا و قسمت خلفی و قدامی شکنج مرکزی مغز نشان نداد [۴۳].

نتایج تحقیق حاضر بیانگر آن است که در تابش‌گیری‌های کوتاه‌مدت، امواج الکترومغناطیسی تابشی از آنتن‌های گیرنده فرستنده تلفن همراه می‌تواند بر سیگنال‌های ناحیه هیپوکمپ موثر باشد. اما شدت امواج تابش شده، نوع آزمون و زمان ثبت نتایج، نقش مهمی را در بروز علائم به‌عهده دارد [۲۵-۲۳]. گرچه بررسی علت تغییرات ایجاد شده در سیگنال‌ها جزو اهداف این آزمایش نبود، اما نباید احتمال بروز آثار مشابه را در افرادی که در نزدیک آنتن‌ها زندگی می‌کنند از نظر دور داشت. از این‌رو 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 از این‌رو ضرورت اجرای آزمون‌های تکمیلی، احساس می‌شود زیرا نمی‌توان به سادگی نتایج حاصل از این تحقیق را به انسان تعمیم داد. از این‌رو مهم‌ترین محدودیت‌های تحقیق عبارتند از:

۱- عدم امکان ثبت سیگنال هیپوکمپ هم‌زمان با تابش امواج به‌دلیل وجود الکترودهای فلزی در مغز حیوان.

۲- عدم امکان الکترودگذاری در ناحیه هیپوکمپ مغز انسان برای اجرای آزمون مشابه.

۳- عدم تطابق وزن مغز و غیر همسان بودن مقداری انرژی جذب شده در مغز انسان و موش.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مسئولین محترم مرکز تحقیقات مخابرات ایران، به دلیل حمایت مالی از پروژه و دانشگاه‌های تربیت مدرس و علوم پزشکی سمنان به سبب فراهم سازی امکانات لازم برای اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

[1] Sicard E, Delmas-Bendhia S. Introduction to GSM. Techonline Publication 2001; 20.

[2] 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.

[3] Haarala C, Bjornberg L, Ek M, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hämäläinen H. Effect of 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phone on human cognitive function: A replication study. Bioelectromagnetics 2003; 24: 283-288.

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

[5] Hocking B, Westerman R. Neurological abnormalities associated with CDMA exposure. Occup Med 2001; 51: 410-413.

[6] Hocking B, Westerman R. Neurological effects of radiofrequency radiation. Occup Med 2003; 53:123-127.

[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: 1641-1643.

[8] Koivisto M, Revonsvo A, Krause C, Haarola C, Sillanmaki L, Laine M. Hämäläinen H. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. Neuroreport 2000; 11: 413-415.

[9] Lai H. Interaction of microwaves and a temporally incoherent magnetic field on spatial learning in the rat. Physiol Behav 2004; 82: 785-789.

[10] Lai H, Horita A, Guy AW. Microwave irradiation affects radial-arm maze performance in the Rat. Bioelectromagnetics 1994; 15: 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: 937-944.

[12] Mann K, Roschke J. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. Neuropsychology 1996; 33: 41-47.

[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: 37-43.

[14] 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: 65-74.

[15] 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.

[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: 51-61.

[17] 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 Radiat Biol 1999; 75: 447-456.

[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: 151-158.

[19] Milner B, Squire LR, Kandel ER. Cognitive neuroscience and the study of memory. Neuron 1998; 20: 445-468.

[20] Morris RG, Gurrud P, Rawllins JN, Okeefe J. Place navigation impaired in rats with hippocampal lesions. Nature 1982; 297: 681-683.

[21] Tattersall JE, Scott IR, Wood SJ, Nettell JJ, Bevir MK, Wang Z, et al. Effects of low intensity radiofrequency

Archive of SID
www.SID.ir

electromagnetic fields on electrical activity in rat hypocampial slices. Brain Res 2001; 904: 43-53.

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

[23] 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 2007; 8: 79-84. (Persian).

[24] Jadidi M, Firoozabadi SMP, Rashidy Pour A, Bolouri B, Fathollahi Y. The effect of electromagnetic waves of GSM mobile phone system on the electrical impedance of rat brain hippocampus. Iran J Med physics 2006; 3: 21-28. (Persian).

[25] Jadidi M, Firoozabadi SMP, Rashidy Pour A, Bolouri B, Fathollahi Y. The effect of increase in electrical field strength of 950 MHz waves on EPSP slope. Iran J Med physics 2009; 6: 33-40. (Persian).

[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 effects of IL-1β on long term potentiation. J Biol Chem 2001; 276: 45564-45572.

[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: 215-224.

[28] Ilhan A, Gurel A, Armutcu F, Kamisli S, Iraz M, Akyol O, Ozen S. Ginkgo biloba prevents mobile phone-induced oxidative stress in rat brain. Clin Chim Acta 2004; 340: 153-162.

[29] Mauset-Bonnefont AL, 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.

[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: 174-181.

[31] Menendez RG. Three molecular mechanisms to explain some biological effects of electromagnetic fields and hypogravity. Med Hypotheses 1999; 52: 239-245.

[32] Wu J, Okada YC. Physiological bases of the synchronized population spikes and slow wave of the magnetic field generated by a guinea-pig longitudinal CA3 slice preparation. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1998; 107: 361-373.

[33] Kavaliers M, Choleris E, Prato FS, Ossenkopp K. Evidence for the involvement of nitric oxide synthase in the modulation of opioid-induced antinociception and the inhibitory effects of exposure to 60 Hz magnetic fields in the land snail. Brain Res 1998; 809: 50-57.

[34] Hogan MV, Wieraszko A. An increase in cAMP concentration in mouse hippocampal slice exposed to low-frequency and pulsed magnetic fields. Neurosci Lett 2004; 366: 43-47.

[35] Prato FS, Carson JJ, Ossenkopp KP, Kavaliers M. Possible mechanisms by which extremely low frequency magnetic fields affect opioid function. FASEB J 1995; 9: 807-814.

[36] Santini MT, Ferrante A, Rainaldi G, Indovina P, Indovina PL. Extremely low frequency (ELF) magnetic fields and apoptosis: a review. Int J Radiat Biol 2005; 81: 1-11.

[37] Maskey D, Kim M, Aryal B, Pradhan J, Choi IY, Park KS, et al. Effect of 835 MHz radiofrequency radiation exposure on calcium binding proteins in the hippocampus of the mouse brain. Brain Res 2012; 1313: 232-241.

[38] Nittby H, Brun A, Eberhardt J, Malmgrend 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; 16: 103-112.

[39] Kumlin T, Livonen H, Miettinen P, Juvonen A, van Groen T, Paranen L, et al. Mobile phone radiation and the developing brain: behavioral and morphological effects in juvenile rats. Radiat Res 2007; 168: 471-479.

[40] Franke H, Streckert J, Bitz A, Goeke J, Hansen V, Ringelstein EB, et al. Effects of universal mobile telecommunications system (UMTS) electromagnetic fields on the BBB in vitro. Radiat Res 2005; 164: 258-269.

[41] Bas O, Odaci E, Kaplan S, Acer N, Ucok K, Colakoglu S. 900 MHz electromagnetic field exposure affects qualitative features of hippocampal pyramidal cells in the adult female rat. Brain Res 2009; 1265: 178-185.

[42] Ntzouni MP, Stamatakis A, Stylianopoulou F, Margaritis LH. Short-term memory in mice is affected by mobile phone radiation. Pathophysiology 2011; 18: 193-199.

[43] Curcio G, Nardo D, Perrucci MG, Pasqualetti P, Chen TL, Del Gratta C, et al. Effects of mobile phone signals over BOLD response while performing a cognitive task. Clinical Neurophysiol 2012; 123: 129-36.

Archive of SID

www.SID.ir

Effects of 950 MHz mobile phone waves on hippocampal long-term potentiation

Majid Jadidi (Ph.D)[*1], Seyed Mohammad Firoozabadi (Ph.D)[2], Ali rashidypour (Ph.D)[3], Bahram Bolori (Ph.D)[4], yaghob fathollahi (Ph.D)[5]

1- Dept. of Medical Physics, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran

2 - Dept. of Medical Physics, Tarbiat Modares University, Tahran, Iran

3 – Research Center and Department of Physiology, School of Medicine, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran

4 – Dept. of Medical Physics, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

5 – Dept. of Physiology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(Received: 28 Oct 2012; Accepted: 21 Apr 2013)

Introduction*:* Almost all of populations have involuntary irradiation from waves that emitted by base station antenna. This in vivo study was planned for evaluating the effects of 950 MHz waves of GSM mobile phone system on dentate gyrus long-term potentiation.

Materials and Methods*:* 32 naive male Wistar rats (3 month old, 220 $\pm$ 15 g) randomly divided in four groups: (LTP immediately after sham–exposed, LTP immediately after GSM exposed, LTP 3 hours after sham–exposed and LTP 3 hours after GSM). The exposure program was planned for 10 sessions at 3 days. Animals were exposed to electromagnetic field for 45-min in a circular plastic chamber (mean electric field = 60 V/m). After end exposure, anesthesia was induced for LTP induction. Field potentials were recorded and analyzed using the population spike amplitude, EPSP slope and spike delay time for 60-min.

Results: There were no significant differences in population spike amplitude and spike delay time immediately after exposure. But these parameters, three hours after exposure were changed.

Conclusion: This experiment provides that rat's long-term potentiation could be affected by the whole-body exposure to 950 MHz field of GSM mobile phone system.

Keywords**:** Electromagnetic field, Base station, Hippocampus, Long-term Potentiation

* Corresponding author: Fax: +98 231 4448999; Tel: +98 231 4448998

Jadidim@sem-ums.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir