

بررسی آثار قرار گرفتن در معرض امواج تلفن همراه (۹۰۰ مگاهرتز) در اوایل تولد بر حافظه و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در بافت مغز موش صحرائی

محمد رضا بیگدلی^{۱*}، مهدی رهنما^۲

۱- استادیار، گروه فیزیولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، زنجان، ایران

۲- دانشیار، گروه فیزیولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، زنجان، ایران

*آدرس نویسنده مسئول: ایران، تهران، کدپستی: ۴۵۱۵۶۵۸۱۴۵، گروه فیزیولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، زنجان، ایران

Email: bigdelimohammadreza@yahoo.com

پذیرش مقاله: ۹۱/۱۰/۲۴

دریافت مقاله: ۹۱/۰۷/۲۶

چکیده

هدف: امواج الکترومغناطیسی تلفن همراه از میدان الکترومغناطیسی موجود در آن صادر می‌شود. مطالعات مختلف نشان داده است که روابطی بین امواج الکترومغناطیس و آسیب‌های عصبی و سرطانی وجود دارد. هدف این مطالعه پژوهش در مورد آثار تشعشعات تلفن همراه بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان مغز بود.

مواد و روش‌ها: نوزادان موش‌های صحرائی نر یک روزه (P1) تحت شرایط استاندارد نگهداری شدند. در گروه آزمایشی موش‌های صحرائی نوزاد از روز P2 تا P14 به مدت ۳ ساعت در روز تحت امواج تلفن همراه قرار گرفتند و موش‌های صحرائی کنترل نیز تحت همین شرایط بدون منبع مولد قرار داشتند. در P22 موش‌های صحرائی نر از ماده جدا شدند و تحت شرایط استاندارد نگهداری شدند تا به P58 برسند. از P59 تا P61 موش‌ها هر روز سه بار تحت آموزش قرار گرفتند تا در روز P62 آزمون ماز آبی انجام شود. بعد از آزمون در P62 موش‌های صحرائی قربانی شدند و سرهایشان جدا شد. بعد از جداسازی مغز، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در آن بافت‌ها مطالعه شد.

نتایج: امواج تلفن همراه کارایی حافظه فضایی را در موش‌های صحرائی کاهش و زمان انجماد حرکتی را افزایش داد. امواج تلفن همراه به طور معنی‌داری میزان فعالیت کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز را کاهش داد.

نتیجه‌گیری: اگرچه مطالعات بیشتری برای مشخص شدن ارتباط بین فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و فرآیند حافظه و یادگیری حاصل از آثار زیان‌بار امواج تلفن همراه روی بافت مغز لازم است، اما نتایج بررسی حاضر نشان می‌دهد که امواج تلفن همراه از طریق اختلالات فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان منجر به نارسایی یادگیری می‌شود.

کلیدواژگان: امواج تلفن همراه، مغز، موش‌های صحرائی، سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز

مجله علوم پزشکی مدرس: آسیب‌شناسی زیستی، دوره ۱۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۱، صفحات: ۱۱-۱۹

مقدمه

و حساسیت بالای عملکردی این دستگاه در انسان، اهمیت بررسی این آثار را دوچندان نموده است. در سال ۲۰۰۶ سازمان جهانی بهداشت طی بیانیه‌ای بر حمایت و انجام طرح‌های پژوهشی در زمینه آثار مضر تلفن همراه در کودکان و

در دنیای امروز علاقه زیادی برای بررسی آثار زیان‌بار امواج الکترومغناطیسی به ویژه تلفن همراه وجود دارد. در این میان به علت دوام بالای آثار مضر تلفن همراه بر دستگاه عصبی

تلفن همراه و آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز

که استفاده از مواد سمی زیر سطح غلظتی کشنده (Reactive oxygen species: ROS) می‌تواند آثار مفیدی بر مغز از جمله افزایش استحکام سد خونی- مغزی [۷]، کاهش ادم مغزی، کاهش حجم سکنه مغزی [۸]، کاهش واکنش‌های التهابی مغز [۹]، افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان [۱۰] افزایش توان مغز در برابر ضربه‌های متنوع مغزی و سایر بافت‌ها [۳، ۵، ۸] را داشته باشد. البته ROS نه تنها در اثر امواج تلفن همراه بلکه به صورت پیوسته نیز در مغز و سایر بافت‌ها نیز تولید می‌شود. برخی از دانشمندان این ماده را عامل بروز پیری می‌دانند. به ویژه آنزیم NADPH اکسیداز که از آن به عنوان ماده‌ای برای از بین بردن میکروارگانیزم‌های مهاجم در سلول‌های سفید خون استفاده می‌کند [۱۱]. در اثر امواج تلفن همراه نیز ROS افزایش می‌یابد، اما مشخص نیست که آنزیم‌های غیرفعال ساز ROS طی نوزادی نیز افزایش می‌یابد یا خیر. نشان داده شده است که قرار دادن موش‌های صحرایی به مدت ۴۵ روز و در هر روز به اندازه ۲ ساعت در معرض امواج تلفن همراه گلوکوکورتیکوئیداز (Glutathione Peroxidase) و سوپراکسید دیسموتاز (Superoxide Dismutase) را کاهش و سطح فعالیت کاتالاز را افزایش می‌دهد [۱۲]. از طرف دیگر؛ گروه دیگری از محققین نشان داده‌اند که قرار گرفتن موش‌های باردار در زمان‌های ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در معرض امواج تلفن همراه برای ۳ بار در روز به مدت ۲۰ روز موجب کاهش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، گلوکوکورتیکوئیداز و افزایش مالون دی‌آلدیید (Malondialdehyde) در گروه‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه می‌شود [۱۳]. مطالعه دیگری نشان می‌دهد که امواج تلفن همراه در موش‌های صحرایی موجب به هم خوردن تعادل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در عدسی و قرنیه چشم موش صحرایی می‌شود و با به‌کارگیری ویتامین ث میزان کاهش سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز و افزایش مالون دی‌آلدیید در مقایسه با گروه کنترل به مقدار زیادی بهبود می‌یابد [۱۴]. هدف از این پژوهش پاسخ به این پرسش است که قرار گرفتن در معرض امواج تلفن همراه در اوایل تولد و اثر آن بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در بافت مغز موش صحرایی چه آثار برگشت ناپذیری دارد؟

بزرگسالان تأکید کرد [۱]؛ به ویژه در کودکان که دستگاه عصبی در حال رشد و نمو است و هر گونه آسیب جدی می‌تواند آثار مخرب و صرف هزینه‌های بالا توسط خانواده و جامعه را به همراه داشته باشد. یکی از عواملی که در اثر قرار گرفتن در معرض تلفن همراه ایجاد می‌شود گونه‌های واکنشی اکسیژن (ROS) است [۲].

اولین بار سالفورد (Salford) و همکارانش در سال ۲۰۰۳ نشان دادند که امواج تلفن همراه با اثر بر دستگاه عصبی موجب بروز اختلالات جدی از جمله سرطان می‌شود [۲]. آن‌ها نشان دادند که امواج تلفن همراه موجب تغییرات آسیب‌شناختی در هیپوکامپ (Hippocampus) مغز حیوانات آزمایشگاهی می‌شود. علت این آسیب‌های حاصل از امواج تلفن همراه را آن‌ها به خروج آلبومین از مغز ربط دادند و در تحقیق بعدی خود آن را اثبات کردند [۳]. بنابراین آسیب امواج تلفن همراه حداقل بر هیپوکامپ بارها اثبات شده است. هیپوکامپ بخش جمعی از دستگاه لیمبیک (Limbic System) است که حاوی مقادیر زیادی گیرنده‌های گلوکوکورتیکوئید (Glucocorticoid) و مینرالوکورتیکوئید (Mineralocorticoids) است که در تنظیم رفتار و تنظیم سطوح هورمونی از طریق محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-آدرنال (Hypothalamus-hipofisis-adrenal axis) نقش ارزشمندی اعمال می‌کند. به دلیل این که بخشی از این تحقیق به رفتارشناسی یادگیری ارتباط پیدا می‌کند، بنابراین آنزیم‌های مزبور در بافت مغز مورد تأکید قرار می‌گیرد [۴].

هیپوکامپ جایگاه تشکیل حافظه نیز هست و آسیب آن می‌تواند نقش مهمی در یادگیری و حافظه داشته باشد. امواج تلفن همراه ممکن است اختلالات هورمونی و رشدی نیز ایجاد نماید. محققین دیگر نشان دادند که قرارگیری نوزاد حیوانات آزمایشگاهی در معرض امواج تلفن همراه موجب بروز تغییرات جدی در دستگاه عصبی می‌شود به طوری که در بزرگسالی ایجاد اضطراب [۵]، افسردگی [۳] و اختلالات رفتاری [۶] می‌نماید که تا پایان عمر باقی می‌ماند. از طرف دیگر؛ نشان داده شده است

مواد و روش‌ها

گروه‌بندی حیوانات

به فاصله حدود یک سانتی‌متر در زیر آب و با فاصله حدود ۲۰ سانتی‌متر از کنار ظرف قرار داشت. دمای آب حدود ۲۲ سانتی‌متر ثابت نگه داشته شد. هر موش صحرایی در جایگاه شروع قرار داده شد و اجازه داده شد تا ۶۰ ثانیه شنا کند و اگر نمی‌توانست در این زمان صفحه را پیدا کند از مخزن خارج می‌شد. برای هر موش صحرایی این تمرین چهار بار صورت می‌گرفت تا محل صفحه را پیدا کند و جایگاه آن را یاد بگیرد. بعد از یادگیری به هر موش صحرایی ۶۰ ثانیه فرصت داده شد تا صفحه را پیدا کند و به محض پیدا کردن صفحه زمان ثبت شد. این ثبت میزان یادگیری حیوان را نشان می‌داد. حین شنا کردن برخی مواقع حیوان بی‌حرکت (انجماد حرکتی) می‌شد به طوری که هیچ‌یک از اندام‌های حرکتی‌اش حرکت نمی‌کرد یا انجماد حرکتی داشت. این زمان به نام زمان انجماد حرکتی ثبت شد.

نمونه‌گیری مغزی و استخراج پروتئین

نمونه‌ها (۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم از بافت نیمکره راست بعد از جداسازی مخچه و پل مغزی) در یک میلی‌لیتر بافر (۰/۳۲ مول در لیتر ساکارز، ۱ میلی‌مول در لیتر EDTA (Ethylenediaminetetraacetic Acid)، و ۱۰ نانومول در لیتر تریس هیدروکلرید با pH ۷/۴) با هموژنایزر (Hemogenizer) شیشه تفلون یکنواخت شد. ماده یکنواخت شده با سرعت ۱۳۶۰۰g به مدت ۳۰ دقیقه سانتی‌فیوژ و محلول رویی (Supernatant) جمع‌آوری شد و برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز مورد استفاده قرار گرفت [۱۶]. غلظت پروتئین براساس روش برادفورد (Bradford) [۱۷] با استفاده از استاندارد آل‌بومین سرم گاوی اندازه‌گیری شد.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز

فعالیت آنزیم کاتالاز به واسطه روش جنت (Genet) و همکاری‌اش در سال ۲۰۰۲ [۱۸] با اندکی تغییر انجام شد. مخلوط سنجش نهایی در حجم کل نهایی ۱ میلی‌لیتر حاوی ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات سدیم pH ۷/۰، ۱۰ میلی‌مولار

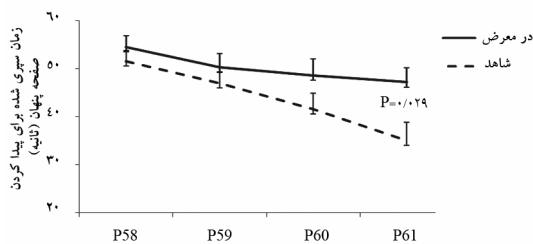
نوزادان موش‌های صحرایی نر و ماده یک روزه (P1) تحت شرایط استاندارد نگهداری شدند. در گروه آزمایشی نوزادان موش‌های صحرایی از روز P2 تا P14 به مدت ۳ ساعت در روز تحت امواج تلفن همراه قرار گرفتند و موش‌های صحرایی کنترل نیز تحت همین شرایط بدون منبع مولد قرار داشتند. در P22 موش‌های صحرایی نر از ماده‌ها جدا شدند (ماده‌ها به علت داشتن هورمون‌های محافظت‌کننده عصبی از پژوهش حذف شدند). موش‌های نر به عنوان گروه کنترل و به عنوان گروه در معرض تحت شرایط استاندارد نگهداری شدند تا به P58 برسند. از روز P58 موش‌ها سه روز هر روز سه بار به فاصله ده دقیقه تحت آموزش گرفتند (از P59 تا P61) و در روز چهارم آزمون ماز آبی (Water Maze) انجام شد. برای سهولت ارزیابی رفتار از دوربین ویدئو استفاده شد. در P62 موش‌های صحرایی قربانی شدند از طریق جداسازی مغز بافت آن‌ها مطالعه شد. در گروه آزمایشی نوزادان موش‌های صحرایی (براساس کار پژوهشی قبلی [۱۵]) تحت منبع مولد رادیو فرکانس تشعشعات الکترومگنتیک (Electromagnetic Field: EMF) با استفاده از آنتنی (Nokia N72) که در داخل قفس (همان قفس نگهداری موش) و فضای روشن بود و عامل استرس‌زای دیگری وجود نداشت، قرار گرفتند. این دستگاه فرکانسی حوالی ۸۴۰ مگا هرتز تولید می‌کرد و موش‌های صحرایی کنترل تحت همین شرایط بدون منبع مولد قرار گرفتند. دمای نگهداری موش‌ها حوالی ۲۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم شده بود.

آزمون‌های ماز آبی موریس

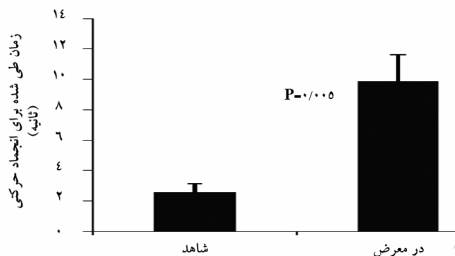
آزمون ماز آبی موریس (Morris Water Maze) برای ارزیابی حافظه فضایی و ارزیابی توانایی یادگیری مهارت‌های خاص و در یک مخزن به قطر ۲۰۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر انجام شد. یک صفحه شفاف به صورت غیر واضح

تلفن همراه و آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز

بر حافظه فضایی انجام شد. موش‌های صحرایی گروه کنترل در مقایسه با گروهی که به مدت ۳ ساعت در روز برای ۱۲ روز در معرض امواج تلفن همراه بودند نارسایی حافظه بیشتری داشتند. زمان لازم برای پیدا کردن صفحه مخفی برای موش‌های صحرایی گروه کنترل $35 \pm 3/8$ ثانیه بود، در حالی که برای گروه در معرض 47 ± 3 ثانیه بود؛ این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار بود (شکل ۱).



شکل ۱ اثر امواج تلفن همراه بر حافظه فضایی در آزمون ماز آبی موریس در دو گروه کنترل و در معرض از لحاظ آماری معنی‌دار است (تعداد ۷ سر).



شکل ۲ اثر امواج تلفن همراه بر انجام حرکتی در آزمون ماز آبی موریس در مقایسه دو گروه کنترل و در معرض از لحاظ آماری معنی‌دار است (تعداد ۷ سر).

اثر امواج تلفن همراه بر زمان انجام حرکتی

آزمون انجام حرکتی برای ارزیابی اثر امواج تلفن همراه بر میزان هوشیاری و کارایی مغزی حیوان انجام شد. موش‌های صحرایی گروه کنترل در مقایسه با گروهی که به مدت ۳ ساعت در روز برای ۱۲ روز در معرض امواج تلفن همراه بودند انجام حرکتی بیشتر داشتند. زمان انجام حرکتی برای

پراکسید هیدروژن و ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییر جذب نوری در ۲۴۰ نانومتر مخلوط سنجش نهایی به مدت یک دقیقه در دمای ۲۵ درجه در مقایسه با محلول بلانک که حاوی همه مواد غیر از بافت یکنواخت شده است اندازه‌گیری شد. یک واحد آنزیم طبق تعریف مقداری از آنزیم است که باعث تبدیل ۱ میکرومول پراکسید هیدروژن در یک دقیقه در یک میلی‌گرم پروتئین شود.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

فعالیت کل سوپراکسید دیسموتاز به واسطه روش جنت و همکارانش در سال ۲۰۰۲ [۱۹] با اندکی تغییر انجام شد. مخلوط سنجش نهایی در حجم کل نهایی ۱ میلی‌لیتر حاوی ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات سدیم، ۰/۱ میلی‌مولار EDTA، ۰/۴۸ میلی‌مولار پیروگالال (Pyrogallol) و ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییر جذب نوری در ۴۲۰ نانومتر مخلوط سنجش نهایی به مدت یک دقیقه در دمای ۲۵ درجه در مقایسه با محلول بلانک که حاوی همه مواد غیر از بافت یکنواخت شده است اندازه‌گیری شد. یک واحد آنزیم طبق تعریف مقداری از آنزیم است که باعث مهار نیمی از حداکثر فعالیت اتواکسیداسیون پیروگالال می‌شود.

تجزیه و تحلیل آماری

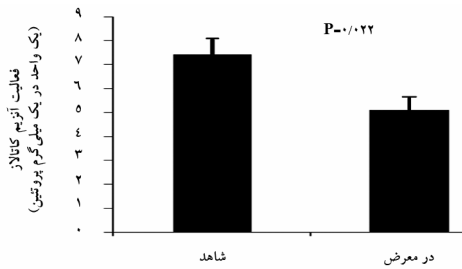
فعالیت آنزیم و مطالعات رفتاری با استفاده از آزمون Independent samples T-test با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. نمایش داده‌ها به صورت میانگین \pm انحراف معیار (Mean \pm SEM) است. در مقایسه آماری $P < 0/05$ معنی‌دار در نظر گرفته شد.

نتایج

اثر امواج تلفن همراه بر حافظه فضایی

آزمون ماز آبی موریس برای ارزیابی اثر امواج تلفن همراه

در میلی گرم پروتئین بود، در حالی که برای گروه در معرض ۵/۱±۰/۵ واحد در میلی گرم پروتئین بود؛ این تفاوت از لحاظ آماری معنی دار بود (شکل ۴).



شکل ۴ اثر امواج تلفن همراه بر فعالیت آنزیم کاتالاز در دو گروه کنترل و در معرض از لحاظ آماری معنی دار است (تعداد ۷ سر).

بحث

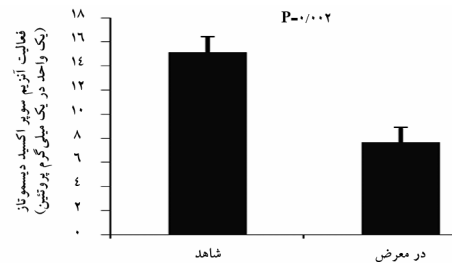
ورود امواج تلفن همراه و امواج دستگاه مشابه که با همین روش کار می کنند در جامعه امروز به طور جدی رو به افزایش است. براساس نتایج این مطالعه به نظر می رسد که امواج تلفن همراه به مدت سه ساعت و برای ۱۲ روز در اوایل تولد می تواند نقص عصب شناختی برگشتناپذیری به وجود آورد و فعالیت آنٹی اکسیدانی مغزی را به طور مؤثر در مدل جانوری موش صحرایی کاهش دهد.

نتایج این پژوهش با سایر مطالعات در زمینه اثر امواج تلفن همراه بر آنزیم های آنٹی اکسیدانی مغز که در مقدمه اشاره شد مطابقت دارد [۲۰]. در پژوهش های دیگر نشان داده شده است که تلفن همراه موجب افزایش آسیب بافت مغزی می شود و ویتامین ث از بروز آسیب های مغزی حاصل از تلفن همراه جلوگیری می کند. به طوری که میزان آسیب بافت مغزی به ازای مدت زمان و فاصله قرارگیری در معرض امواج تلفن همراه متفاوت بوده است [۱۱]. بنابراین کمیت و کیفیت قرارگیری مغز در معرض تلفن همراه با عوارض جانبی و مسمومیت های آن در بدن ارتباط دارد. این نتایج نشان می دهد که تلفن همراه نقص های عصب شناختی را تقویت می کند و در برخی موارد

موش های صحرایی گروه کنترل ۲/۶±۰/۶ ثانیه بود، در حالی که برای گروه در معرض ۹/۸±۱/۸ ثانیه بود؛ این تفاوت از لحاظ آماری معنی دار بود (شکل ۲).

اثر امواج تلفن همراه بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

اندازه گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز برای ارزیابی اثر امواج تلفن همراه بر فعالیت آنٹی اکسیدانی مغز حیوان انجام شد. موش های صحرایی گروه کنترل در مقایسه با گروهی که به مدت ۳ ساعت در روز برای ۱۲ روز در معرض امواج تلفن همراه بودند فعالیت آنٹی اکسیدانی کمتری داشتند. فعالیت آنٹی اکسیدانی برای موش های صحرایی گروه کنترل ۱۴/۴±۲/۲ واحد در میلی گرم پروتئین بود در حالی که برای گروه در معرض ۷/۶±۱/۳ واحد در میلی گرم پروتئین بود؛ این تفاوت از لحاظ آماری معنی دار بود (شکل ۳).



شکل ۳ اثر امواج تلفن همراه بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در دو گروه کنترل و در معرض از لحاظ آماری معنی دار است (تعداد ۷ سر).

اثر امواج تلفن همراه بر فعالیت آنزیم کاتالاز

اندازه گیری فعالیت آنزیم کاتالاز برای ارزیابی اثر امواج تلفن همراه بر فعالیت آنٹی اکسیدانی مغز حیوان انجام شد. موش های صحرایی گروه کنترل در مقایسه با گروهی که به مدت ۳ ساعت در روز برای ۱۲ روز در معرض امواج تلفن همراه بودند فعالیت آنٹی اکسیدانی کمتری داشتند. فعالیت آنٹی اکسیدانی برای موش های صحرایی گروه کنترل ۷/۴±۰/۷ واحد

تلفن همراه و آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز

هیپوکامپ مرکز کنترل رفتار و سطوح هورمونی نیز هست که با این وضعیت محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-آدرنال متأثر می‌شود [۲]. نشان داده شده است که قرار گرفتن موش‌های صحرایی ماده در معرض امواج تلفن همراه موجب افزایش سطح کورتیزول (Cortisol) در خون‌شان می‌شود که بیانگر اختلال ایجاد شده در محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-آدرنال است [۱۲]. همان‌طوری که در سایر پژوهش‌ها نشان داده شده است قرار گرفتن زیر یک ساعت در معرض امواج تلفن همراه آثار عصب‌شناختی ندارد. از طرف دیگر نشان داده شده است که قرار گرفتن زیر دو ساعت در معرض امواج تلفن همراه آثار متابولیک پایینی دارد؛ به همین دلیل از ۳ ساعت قرارگیری در معرض تلفن همراه استفاده شده است تا شدت آثار در سطح آنزیمی قابل سنجش باشد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که امواج تلفن همراه موجب بروز نارسایی‌های حافظه و تمرکز می‌شود. این یافته‌ها با نتایج سایر محققین مبنی بر آثار حفاظتی مواد آنتی‌اکسیدان در برابر امواج تلفن همراه تا حدی همخوانی دارد. از آنجایی که مطابق نتایج این تحقیق امواج تلفن همراه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را کاهش می‌دهد بنابراین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان یا مواد آنتی‌اکسیدان تا حد زیادی اثر حفاظتی در برابر امواج تلفن همراه دارد؛ اما نیاز به مطالعات بیشتری است تا اثر پاتوفیزیولوژی امواج تلفن همراه بر مغز روشن‌تر شود.

تشکر و قدردانی

این طرح پژوهشی با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان انجام شده است که بدین وسیله از حمایت‌های مالی این دانشگاه تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

نارسایی‌های حافظه‌ای ایجاد می‌کند. از آنجایی که ویتامین ث یک آنتی‌اکسیدان قوی است بنابراین با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی از تخریب بافت و سلول‌های عصبی جلوگیری می‌کند. به همین دلیل ممکن است تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی با یادگیری و حافظه رابطه داشته باشد. بنابراین کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجب کاهش یادگیری خواهد شد که در این پژوهش نیز به اثبات رسیده است. در این مطالعه موش‌های ماده از مطالعه حذف شد زیرا هورمون‌های جنسی به ویژه استروژن‌ها و پروژسترون آثار حفاظت عصبی دارند و می‌تواند بر اعمال حفاظت عصبی سیستم آنتی‌اکسیدانی بیفزایند یا اثر هم‌افزا داشته باشند.

در صورتی که توان سیستم آنتی‌اکسیدانی (سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون، گلوتاتیون ردکتاز، گلوتاتیون پراکسیداز) تضعیف شود، سطح اکسیژن رادیکالی افزایش می‌یابد. این افزایش منجر به واکنش اکسیژن رادیکالی با پروتئین‌های عملکردی و ساختمانی، DNA، RNA و لیپیدهای سلول‌های عصبی می‌شود. با این وضعیت حتی اگر سلول دچار مرگ برنامه‌ریزی شده نشود، از لحاظ عملکردی دچار اختلال می‌شود؛ این اختلال عملکردی می‌تواند در یادگیری و حافظه ایجاد شود.

نتایج سایر محققین نشان می‌دهد که امواج تلفن همراه به مدت حدود ۴۰ دقیقه در روز آثار عصب‌شناختی را نشان نمی‌دهد [۲۰]. نشان داده شده است که تلفن همراه بالای یک ساعت عصب‌شناختی است و اختلالات جدی عصبی و سرطانی به وجود می‌آورد که برخی مواقع برگشت‌ناپذیر است و ممکن است مدت‌ها ادامه داشته باشد. این امواج باعث تغییر شکل آسیب‌شناختی در سلول‌های هیپوکامپ می‌شود. از آنجایی که هیپوکامپ مرکز تبدیل و استحکام یادگیری است، امواج مزبور بر یادگیری آثار جدی دارد. از طرف دیگر؛

منابع

[1] van Deventer E, van Rongen E, Saunders R.

WHO research agenda for radiofrequency fields.

- Bioelectromagnetics 2011; 32(5): 417-21.
- [2] Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BR. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environ Health Perspect* 2003; 111(7): 881-3.
- [3] Daniels WM, Pietersen CY, Carstens ME, Stein DJ. Maternal separation in rats leads to anxiety-like behavior and a blunted ACTH response and altered neurotransmitter levels in response to a subsequent stressor. *Metab Brain Dis* 2004; 19(1-2): 3-14.
- [4] 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. *Electromagn Biol Med* 2008; 27(3): 215-29.
- [5] Nemeroff CB. Early-Life Adversity, CRF Dysregulation, and Vulnerability to Mood and Anxiety Disorders. *Psychopharmacol Bull* 2004; 38(1): 14-20
- [6] Daniels WM, de Klerk Uys J, van Vuuren P, Stein DJ. The development of behavioral and endocrine abnormalities in rats after repeated exposure to direct and indirect stress. *Neuropsychiatr Dis Treat* 2008; 4(2): 451-64.
- [7] Kesari KK, Behari J. Fifty-gigahertz Microwave Exposure Effect of Radiations on Rat Brain. *Appl Biochem Biotechnol* 2009; 158: 126-39.
- [8] Zhu Y, Gao F, Yang X, Shen H, Liu W. The effect of microwave emission from mobile phones on neuron survival in rat central nervous system. *PIER* 2008; 82: 287-98.
- [9] Chou CK, Chan KW, McDougall JA, Guy AW. Development of a rat head exposure system for simulating human exposure to RF fields from handheld wireless telephones. *Bioelectromagnetics* 1999; Suppl 4: 75-92.
- [10] Curcio G, Ferrara M, Limongi T, Tempesta D, Di Sante G, De Gennaro L, Quaresima V, Ferrari M. Acute mobile phones exposure affects frontal cortex hemodynamics as evidenced by functional near-infrared spectroscopy. *J Cereb Blood Flow Metab* 2009; 29(5): 903-10.
- [11] Valentini E, Curcio G, Moroni F, Ferrara M, De Gennaro L, Bertini M. Neurophysiological effects of mobile phone electromagnetic fields on humans: a comprehensive review. *Bioelectromagnetics* 2007; 28(6): 415-32.
- [12] Kesari KK, Kumar S, Behari J. 900-MHz microwave radiation promotes oxidation in rat brain. *Electromagn Biol Med* 2011; 30(4): 219-34.
- [13] Jing J, Yuhua Z, Xiao-qian Y, Rongping J, Dong-mei G, Xi C. The influence of microwave radiation from cellular phone on fetal rat brain. *Electromagn Biol Med* 2012; 31(1): 57-66.
- [14] Balci M, Devrim E, Durak I. Effects of mobile phones on oxidant/antioxidant balance in cornea and lens of rats. *Curr Eye Res* 2007; 32(1): 21-5.
- [15] Daniels WM, Pitout IL, Afullo TJ, Mabandla MV. The effect of electromagnetic radiation in the mobile phone range on the behaviour of the rat. *Metab Brain Dis* 2009; 24(4): 629-41.
- [16] Xia E, Rao G, Van Remmen H, Heydari AR, Richardson A. Activities of antioxidant enzymes in various tissues of male Fischer 344

تلفن همراه و آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز

- rats are altered by food restriction. *J Nutr* 1995; 125(2): 195-201.
- [17] Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 1976; 72: 248-54.
- [18] Genet S, Kale RK, Baquer NZ. Alterations in antioxidant enzymes and oxidative damage in experimental diabetic rat tissues: effect of vanadate and fenugreek (*Trigonella foenum graecum*). *Mol Cell Biochem* 2002; 236(1-2): 7-12.
- [19] Beauchamp C, Fridovich I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Anal Biochem* 1971; 44(1): 276-87.
- [20] Imge EB, Kiliçoğlu B, Devrim E, Cetin R, Durak I. Effects of mobile phone use on brain tissue from the rat and a possible protective role of vitamin C - a preliminary study. *Int J Radiat Biol* 2010; 86(12): 1044-9.