

بررسی اثرات میدان های الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم بر یادگیری، حافظه و رفتارهای شبه اضطرابی در موش سفید بزرگ آزمایشگاهی

زهرا اختری (M.D)، علی رشیدی پور* (Ph.D)، عباسعلی وفایی (Ph.D)، مجید جدیدی (Ph.D)
دانشگاه علوم پزشکی سمنان، مرکز تحقیقات و گروه فیزیولوژی، آزمایشگاه یادگیری و حافظه

چکیده

سابقه و هدف: هر چند مطالعات گذشته نشان داده اند که تابش حاد میدان های الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم رفتارهای شناختی را مختل می کند، اطلاعات در مورد تابش مزمن همچنان در پرده ابهام است. از این رو، هدف این مطالعه بررسی اثرات تابش مزمن میدان مغناطیسی بر حافظه و یادگیری فضایی و غیر فضایی و رفتارهای شبه اضطرابی بود.

مواد و روش ها: ۲۵ موش نر بالغ از نژاد ویستار به وزن تقریبی ۲۰۰-۱۸۰ گرم به سه گروه تصادفی تقسیم شدند. گروه های میدان به مدت ۲۸ شبانه روز در قفس های مخصوص کاملاً فایبرگلاس در محوطه میدان مغناطیسی یکنواخت (۱۰ یا ۱۰۰ میکروتسلا) زندگی کردند. پس از این مدت موش ها در آزمون های ماز بعلاوه ای شکل مرتفع و جعبه تاریک-روشن از نظر اضطراب و ماز آبی موریس و دستگاه احترازی غیر فعال از نظر حافظه فضایی و غیر فضایی آزمون شدند.

یافته ها: تفاوت معنی داری در توانایی یادگیری و حافظه و رفتارهای شبه اضطرابی بین موش های کنترل و در معرض میدان مشاهده نشد.

نتیجه گیری: این یافته ها نشان می دهند که احتمالاً تابش مزمن میدان الکترومغناطیسی ۱۰ یا ۱۰۰ میکروتسلا، با فرکانس ۵۰ هرتز به مدت ۴ هفته مداوم و متوالی اثری روی فعالیت های شناختی و شبه اضطرابی ندارد.

واژه های کلیدی: میدان الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم، یادگیری، حافظه، رفتارهای شبه اضطرابی، موش سفید بزرگ آزمایشگاهی

مقدمه

در طول قرن اخیر تماس با میدان های الکترومغناطیسی روبه افزایش است. امروزه هرکسی با میدان های الکترومغناطیسی بسیار متنوعی در محیط کار و منزل، از طریق تولید یا انتقال برق، دستگاه های خانگی و ماشین آلات صنعتی و نیز سیستم های مخابراتی و صوتی و تصویری در تماس است. با وجود فواید بی نظیر در گسترش استفاده از الکتریسته، یک نگرانی مهم در مورد تماس با امواج الکترومغناطیسی این است که مقادیر اندک آن بتواند پیامدهای مضر بر سلامت بشر داشته باشد [۱]. میدان های الکترومغناطیسی با

فرکانس های بسیار کم - ELFEL (Extremely low Frequency Electromagnetic Fields)، همان میدان ایجاد شده از خطوط نیروی نزدیک به محل های سکونت، یا سیم کشی های برق خانگی و یا ابزارهای پزشکی است. گزارش هایی مبنی بر اثرات بیولوژیکی مختلف ناشی از ELFEL از جمله تداخل با فعالیت مغز، ایجاد آسیب رفتاری و شناختی [۲]، تغییر فعالیت حرکتی [۳، ۴] تغییر فعالیت سیستم درد [۵]، تغییر فعالیت گیرنده های N متیل D آسپارتیک اسید (NMDA) و پیامدهای کلسیم در هیپوکمپ [۶] و نیز اثر امواج شبانه بر ضربان قلب و خواب [۷] وجود

دارد.

حافظه فضایی و غیر فضایی و نیز رفتارهای شبه اضطرابی است.

مواد و روش‌ها

حیوانات آزمایشگاهی. موش‌های سفید بزرگ آزمایشگاهی نر بالغ از نژاد ویستار به وزن ۲۰۰-۱۸۰ گرم در حیوان خانه مرکز تحقیقات فیزیولوژی دانشگاه علوم پزشکی سمنان پرورش داده شدند. موش‌ها، به صورت تصادفی به سه گروه کنترل ($n=10$) و گروه در معرض میدان با شدت ۱۰ میکروتسلا ($n=10$) و شدت ۱۰۰ میکروتسلا ($n=15$) تقسیم شدند. در طول آزمایش‌ها تمام موش‌ها به صورت گروه‌های ۴ تایی در قفس‌های متوسط مخصوص که هیچ نوع وسیله فلزی در آن به کار نرفته بود در داخل محفظه میدان مغناطیسی در یک چرخه شبانه روزی دوازده ساعت روشنایی و دوازده ساعت تاریکی و همچنین دمای ۲۴-۲۲ درجه سانتی گراد قرار گرفتند و آب و غذا در دسترس آنها قرار داشت (شکل ۱). میدان گنجایش ۴ قفس متوسط را داشت. موش‌های گروه مورد به مدت ۴ هفته در میدان روشن زندگی کردند و موش‌های گروه شاهد در همان زمان در قفس‌های متوسط ۴ تایی در همان اتاق دور از میدان مغناطیسی نگهداری شدند.

میدان الکترومغناطیسی. برای ایجاد میدان مغناطیسی مربع شکلی با اضلاع ۱۰۰ سانتی متر، از ۱۰ سیم پیچ موازی مستطیل شکل استفاده شده که با مشخصات زیر به صورت سری بر روی بدنه‌ای از جنس چوب نصب شدند تا میدان یکنواخت مورد نیاز را فراهم آورند. سیم مسی روکش دار ۰/۹ میلی متر، تعداد دور هر سیم پیچ ۵۰ دور، فاصله دو سیم پیچ ۱۰ سانتی متر و هیچ فلزی در آن استفاده نشد. شدت میدان در محدوده مرکزی آن 10 ± 2 میکرو تسلا و شدت میدان مغناطیسی زمینه در حالت خاموش بودن دستگاه‌ها ۱ میکروتسلا بود.

قفس‌های متوسط با در پوش و ظروف غذایی از جنس فایبرگلاس بطور کامل در داخل سیم پیچ و میدان یکنواخت قرار گرفت. در حقیقت قفس‌ها در محدوده ۷۰٪ میانی میدان

با توجه به صنعتی شدن جوامع و افزایش تماس‌های انسان‌های مختلف در سنین متفاوت با این وسایل، در سال‌های اخیر توجه خاصی به اثرات ELF EF بر جنبه‌های مختلف سلامت بشر صورت گرفته است، یکی از رفتارهایی که مورد توجه است، حافظه و یادگیری می‌باشد. ولی نتایج مطالعات اخیر در این باره بسیار ناهمگونگ و حتی متناقض است [۲]. در حالی که در برخی از مطالعات آمده است که میدان‌های مغناطیسی ضعیف روی حافظه در موش اثری ندارد [۸]، برخی دیگر از مطالعات نشان داده‌اند که تماس حاد با این امواج می‌تواند برای مغز مضر باشد [۹]، یا اینکه تماس حاد و کوتاه مدت با ELF EF می‌تواند قابلیت تثبیت حافظه فضایی را مختل کند [۱۰]. با این حال در یک مطالعه بیان شده است که ELF EF‌هایی که در محیط‌های شغلی وجود دارد، با فعالیت مغز انسان تداخل ندارند [۱۱]. هر چند این مطالعات آسیب حافظه و یادگیری را در تابش حاد امواج مطرح می‌کند، اطلاعات در مورد تابش مزمن همچنان در پرده ابهام است [۱۲]. در یک مطالعه نشان داده شد که تابش مزمن ELF EF سبب اختلال حافظه فضایی می‌شود و این امر به مدت تابش و شدت میدان بستگی دارد [۱۳]. ولی یک مطالعه اخیر نشان داده است که تابش مزمن ELF EF اثر مثبتی به اکتساب حافظه فضایی دارد [۱۲].

از طرف دیگر، مطالعات گذشته یک نوع رابطه را بین ELF EF و برخی از جنبه‌های روانی انسان و حیوان پیشنهاد می‌کند. برخی یافته‌ها حاکی از آن است که تماس مزمن با ELF EF اثرات اضطراب آوری در موش‌ها دارد که این اثر به طول مدت تابش روزانه بستگی دارد. با این حال مطالعاتی که روی رابطه اضطراب و تماس با ELF EF انجام شده است، بسیار کم است و این مطالعات در ابتدای راه است [۱۴].

با توجه به نتایج ضد و نقیض در مورد اثرات ELF EF بر یادگیری و حافظه و نیز فقدان مطالعات در مورد اثرات آن بر سایر رفتارها از قبیل رفتارهای شبه اضطرابی، هدف این مطالعه بررسی اثرات تابش مزمن ELF EF بر یادگیری و

قرار داشتند تا از میدان یکنواخت برای تابش دهی استفاده شود (شکل ۱).



شکل ۱. بساط ایجاد میدان الکترومغناطیس

حرکت و رفتار حیوان به وسیله یک دوربین تلویزیونی مادون قرمز که در ارتفاع دو متری بالای ناحیه مرکزی مخزن قرار گرفته ردیابی و تشخیص داده شده و کنترل می‌شد. سیگنال تلویزیونی دیجیتال وارد یک سیستم ردیاب کامپیوتری شده که حرکت موش را هر ۱۰۰ میلی ثانیه ارزیابی و ذخیره می‌کرد. از این رو، امکان ثبت دقیق مسیر شنای موش در هر بار آموزش فراهم می‌شد و از روی آن متغیرهای زیر اندازه گیری شدند [۱۶]:

- مدتی که طول می‌کشد تا حیوان سکوی پلکسی گلاس را پیدا کند.
- طول مسافت کل مسیر شنای موش در هر بار آموزش.
- درصد زمانی که حیوان در هر ربع مخزن گذرانده بود.
- سرعت حرکت موش.

روش بررسی یادگیری و حافظه فضایی

عادت دادن. به منظور عادت کردن به ماز، ۳ ساعت قبل از آموزش موش‌ها به مدت سه دقیقه در مخزن فاقد صفحه پلکسی گلاس شنا کردند.

آموزش. در این مرحله، موش‌ها روزانه ۳ بار به مدت ۵ روز جهت یافتن سکویی که در وسط ربع SW (جنوب غربی) مخزن قرار داشت تحت آموزش قرار گرفتند. در هر بار آموزش موش به طور تصادفی از یکی از چهار نقطه اصلی مخزن (شمال، جنوب، شرق، غرب) به داخل آب رها می‌شد. سپس موش شنا کرده تا سکوی پلکسی گلاس زیر آب را پیدا کند و روی آن قرار گیرد. پس از پیدا کردن سکوی موش اجازه داده می‌شد که به مدت ۳۰ ثانیه روی آن باقی بماند. در صورتی که موش قادر به پیدا کردن سکوی در مدت ۶۰ ثانیه نبود با دست به طرف آن هدایت می‌شد. مدت زمان پیدا کردن سکوی و مسافت کل طی شده و درصد زمانی که حیوان در هر ربع مخزن گذرانده و سرعت حرکت موش در هر بار آموزش اندازه گیری می‌شد. پس از آخرین بار آموزش حیوان از حوضچه خارج و با حوله خشک گشته و به قفس خود باز گردانده می‌شد.

از آنجا که برق شهر دارای نوسان است لذا اتصال مستقیم سیم پیچ به برق شهر باعث ایجاد نوسان در شدت میدان مغناطیسی می‌شد. از این رو جریان کم فرکانس مورد نیاز با کمک سیم پیچ هلمهولتز و دستگاه سیگنال ژنراتور مدل Topward 8102 برای ایجاد جریان ۵۰ هرتز ایجاد شد. به منظور اندازه گیری شدت میدان مغناطیسی مورد نیاز از یک دستگاه تسلا متر مدل EMF 827 استفاده شد. شدت میدان روزانه به طور مرتب دو نوبت چک می‌شد، مقدار آن ثبت گشته، تغییرات احتمالی اصلاح و صحت یکنواختی آن تایید می‌شد.

تست های یادگیری و حافظه فضایی

ماز آبی موریس. ماز آبی یک مخزن فلزی حلقوی با دیواره مشکی (۱۴۰ سانتی متر قطر و ۵۵ سانتی متر ارتفاع) است که تا ارتفاع ۲۵ سانتی متری از آب ۲۲ درجه سانتی گراد پر می‌شد. یک سکوی فلزی تیره (با قطر ۱۱ سانتی متر) ۱ سانتی متر زیر سطح آب در مرکز یکی از چهار ربع شمال شرقی، جنوب شرقی، شمال غربی، جنوب غربی قرار داده شد. این سکوی توسط یک پایه روی کف مخزن نگهداری می‌گردید. سکوی فوق فقط وسیله‌ای برای فرار حیوان از آب بود. اتفاقی که ماز در آن قرار داشت حاوی اجسام و علامت‌های اضافی تعبیه شده از قبیل پوستر و قفسه و پنجره‌ها و غیره بود [۱۵].

جریان الکتریکی با مدت، شدت و فرکانس مشخص از کف آن عبور می‌کند. دستگاه در یک محل بدون صدا و رفت و آمد قرار گرفته بود.

آموزش یادگیری احترازی غیرفعال

سازش یافتن. هر موش ابتدا در قسمت روشن دستگاه پشت به درب قرار داده می‌شد و وقتی که موش به طرف درب می‌چرخید درب باز می‌شد و اجازه داده می‌شد حیوان وارد قسمت تاریک شود. بلافاصله درب بسته می‌شد و حیوان پس از ۲۰-۱۵ ثانیه از قسمت تاریک گرفته و به قفس بازگردانیده می‌شد. این روش برای یک بار دیگر در فاصله ۳۰ دقیقه تکرار می‌گردید.

آموزش (اکتساب یادگیری). ۳۰ دقیقه بعد از بار دوم سازش یافتن، اکتساب یادگیری انجام می‌شد. به دنبال وارد شدن موش به قسمت تاریک درب بسته شده و شوک الکتریکی با شدت ۰/۵ میلی آمپر و به مدت ۲ ثانیه از طریق سیم‌های استیل تعبیه شده در کف قسمت تاریک به حیوان اعمال می‌شد.

تست بخاطر آوری. ۳ ساعت بعد از آموزش تست به خاطر آوری حافظه کوتاه مدت و ۲۴ ساعت پس از آموزش تست به خاطر آوری حافظه بلند مدت انجام شد. حیوان در قسمت روشن پشت به درب قرار داده می‌شد و پس از چرخیدن موش به طرف درب، درب باز می‌شد. زمان ورود حیوان برای اولین بار به داخل قسمت تاریک (Step-through latency STL محاسبه می‌شد [۱۸]).

تست اضطراب در ماز بعلاوه ای شکل

ماز بعلاوه ای شکل مرتفع. برای ارزیابی اضطراب از دستگاه ماز بعلاوه ای شکل مرتفع (Elevated plus maze) که مدل استاندارد جهت ارزیابی سطح اضطراب در جوندگان است استفاده شد. این دستگاه از چوب ساخته شده و شامل دو بازوی باز (هر یک ۱۰×۵۰ سانتیمتر) و دو بازوی بسته (هر یک ۱۰×۴۰×۵۰ سانتیمتر) و یک کفه مرکزی (۱۰×۱۰ سانتیمتر) است که بازوهای باز روبروی هم و بازوهای بسته هم روبروی یکدیگر قرار دارند و حدود ۵۰ سانتیمتر از کف

تست به خاطر آوری (Probe). یک روز بعد از آخرین آموزش، حافظه فضایی حیوانات مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مرحله موش‌ها در یک آزمون ۶۰ ثانیه‌ای که در طی آن سکو از داخل آب بر داشته می‌شد مورد ارزیابی قرار گرفتند و مدت زمان طی شده در محل هدف، مدت زمان طی شده در حاشیه ماز، مدت زمان طی شده در سایر نواحی، درصد زمانی که حیوان در هر ربع مخزن گذرانده، مدت زمانی که طول کشیده تا موش برای اولین بار از سکو عبور کند، سرعت شنا کردن، مسافت کل طی شده، تعداد دفعاتی که موش از محل قبلی سکو عبور کرده است و زمان گذرانده شده در یک ناحیه با شعاع ۲۰ سانتی در ربع هدف و ناحیه معادل آن در ربع مخالف اندازه‌گیری شد [۱۷].

تست سکوی آشکار (Visible). به منظور بررسی هماهنگی حسی - حرکتی، ۲۴ ساعت پس از انجام تست به خاطر آوری، سکو توسط یک صفحه فلزی سفید رنگ، مرئی شد و کاملاً هم سطح با آب قرار گرفت تا به صورت واضح دیده شود. این سکو در منطقه NW (شمال غربی) قرار داشت و موش‌ها در هر بار به ترتیب از نقاط NE، SE و SW به داخل آب رها می‌شدند. سپس موش شنا کرده تا سکوی فلزی سفید رنگ هم سطح آب را پیدا کند و روی آن قرار گیرد. پس از پیدا کردن سکو به موش اجازه داده می‌شد که به مدت ۳۰ ثانیه روی آن باقی بماند. در صورتی که موش قادر به پیدا کردن سکو در مدت ۶۰ ثانیه نباشد با دست به طرف آن هدایت می‌شد. مدت زمان پیدا کردن سکو در هر بار آموزش اندازه‌گیری می‌شد.

یادگیری احترازی غیرفعال

دستگاه احترازی غیرفعال. دستگاه یادگیری احترازی غیرفعال (Model 2007, Ugo Basile, Spain) یک محفظه پلکسی گلاس مکعب مستطیل شکل است که توسط یک درب گیوتینی به دو قسمت روشن و تاریک تقسیم می‌شود. درکف هر دو بخش میله‌های ضد زنگ ۳ میلی‌متری به فاصله ۹ میلی‌متر از هم قرار دارند و کف قسمت تاریک دستگاه به یک مدار الکتریکی وصل می‌شود که با روشن شدن کلید مدار،

شده ای که اثرات اضطراب آور یا اضطراب زدا در انسان دارند به اثبات رسیده است [۲۱].

روش تست. حیوان در قسمت روشن دستگاه قرار داده می شد و رفتارش به مدت ۵ دقیقه مورد بررسی قرار می گرفت و شاخص های زیر ثبت می شدند:

- زمان گذرانده شده در قسمت تاریک طی این ۵ دقیقه.
- زمان گذرانده شده در قسمت روشن طی این ۵ دقیقه.
- تعداد بارهایی که بین محفظه تاریک و روشن رفت و آمد می کرد [۲۲].

نتایج

۱ - اثر تابش مزمن ELF EF بر یادگیری فضایی

یافته های زمان آموزش: زمان رسیدن به سکو. شکل ۲ زمان رسیدن به سکو را در نوبت های آموزشی مختلف در دو گروه در هر روز به ترتیب روزها نشان می دهد. به منظور بررسی تفاوت های ریز در توانایی یادگیری موش ها، داده های هر روز (گروه × نوبت آموزش) به صورت مجزا آنالیز شدند. نتایج حاکی از اثرات معنی دار نوبت های آموزش در هر روز و عدم تفاوت بین گروه ها و فقدان تعامل معنی دار بین گروه ها و نوبت های آموزش است. در مجموع آنالیز واریانس دو طرفه (گروه × روز) حاکی از اثرات معنی دار روزهای آموزش (گروه × روز) $(F_{4,128}=16.56, P<0.0001)$ ، فقدان اثرات گروه ها $(F_{2,128}=0.186, P=0.83)$ و فقدان تعامل معنی دار است $(F_{8,128}=0.81, P=0.6)$ (شکل ۲).

۲ - اثر تابش مزمن ELF EF بر حافظه فضایی

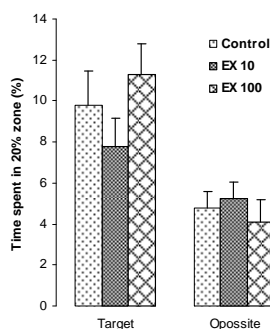
زمان گذرانده شده در ربع های چهار گانه. شکل ۳ زمان گذرانده شده در ربع هدف، ربع مخالف و ربع های NW, SE را نشان می دهد. آنالیز واریانس دو طرفه (منطقه × گروه) حاکی از اثر معنی دار ربع های چهار گانه $(F_{3,128}=9.31, P=0.0001)$ ، فقدان اثر گروه ها $(F_{2,128}=0.033, P=0.96)$ و تعامل معنی دار بین دو متغیر فوق است $(F_{6,128}=3.89, P=0.001)$.

اطاق بالاتر قرار می گیرد. آزمون ماز بعلاوه ای شکل مرتفع یک مدل مفید برای تشخیص اثرات اضطراب آور و اضطراب زدای انتخابی داروهاست [۱۹].

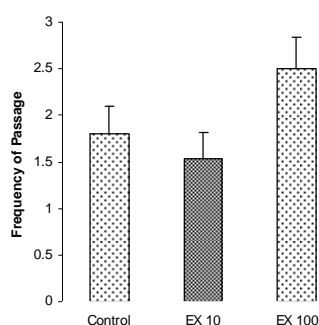
روش تست. هر موش قبل از تست به طور جداگانه، ۵ دقیقه قبل از آزمایش به اطاق کار منتقل و در جعبه ای به ابعاد $30 \times 40 \times 10$ سانتی متر قرار می گرفت تا فعالیت جستجوگرانه (Explorative activity) حیوان افزایش یابد. آنگاه به مدت ۵ دقیقه در ماز (قسمت کفه و رو به بازوی باز) قرار داده شد و شاخص های استاندارد ارزیابی اضطراب از طریق مشاهده آن ها بررسی و فعالیت های جستجو گرانه ثبت می شد. افزایش ورود به بازوهای باز و افزایش مدت سپری شده در بازوی باز شاخص کاهش اضطراب در موش تلقی می شد. همچنین قضاوت در مورد اختلاف معنی دار سطح اضطراب بدین صورت است که اگر هم زمان هر دو شاخص (ورود به بازوی باز و مدت سپری شده در آنها) در یک راستا کاهش و یا افزایش یابد و حداقل یکی از آنها تفاوت معنی داری با گروه کنترل داشته باشد، به عنوان تغییر معنی دار سطح اضطراب تلقی می شد [۲۰].

تست اضطراب در جعبه تاریک - روشن

دستگاه جعبه تاریک - روشن. این دستگاه شامل یک محفظه پلکسی گلاس مکعب مستطیل با طول ۹۱ سانتی متر، عرض ۲۰ سانتی متر و ارتفاع ۲۰ سانتی متر می باشد. دستگاه توسط یک درب گیوتینی به دو قسمت روشن به طول ۳۱ سانتی متر و تاریک ۶۰ سانتی متر تقسیم می شود. درکف هر دو بخش میله های ضد زنگ به فاصله یک سانتی متر از هم قرار دارند. جوندگان ترجیح می دهند بیشتر زمان خود را در تاریکی به سر برند. موش هایی که اضطراب بیشتری دارند زمان بیشتری را در نیمه تاریک جعبه سپری می کنند ولی موش هایی که اضطراب کمتری دارند تقریباً برای کاوش و تفحص در هر دو قسمت تاریک و روشن جعبه زمان کافی صرف می کنند. اعتبار الگوی تاریک و روشن در جوندگان به عنوان یک روش اندازه گیری با استفاده از ترکیبات شناخته



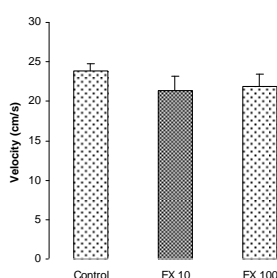
شکل ۴. اثرات میدان مغناطیسی بر حافظه فضایی. زمان سپری شده در یک ناحیه با شعاع ۲۰ سانتی متر از مرکز سکو در ربع هدف و ناحیه معادل آن در ربع مخالف در فاز به خاطر آوری. تفاوت معنی داری بین گروهها در هیچ یک از دو ناحیه دیده نشد.



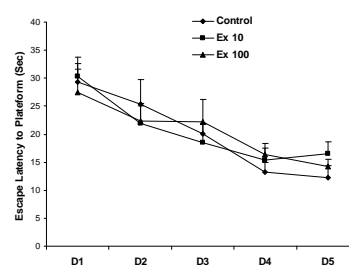
شکل ۵. اثرات میدان مغناطیسی بر حافظه فضایی. تعداد دفعات عبور از محل قبلی سکو در فاز به خاطر آوری. هیچ گونه تفاوت معنی داری بین گروهها دیده نشد.

سرعت حرکت. شکل ۶ سرعت حرکت موش ها را نشان می دهد. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه حاکی از فقدان تفاوت معنی دار بین گروه ها است ($F_{2,32}=0.71, P=0.49$).

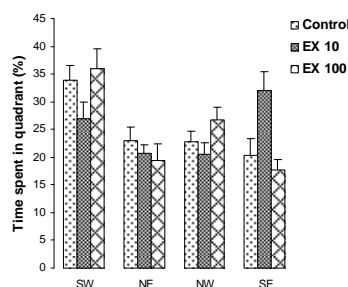
کل مسافت طی شده. شکل ۷ کل مسافت طی شده را نشان می دهد. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه حاکی از فقدان تفاوت معنی دار بین گروه ها است ($F_{2,32}=1.69, P=0.2$).



شکل ۶. اثرات میدان مغناطیسی بر حافظه فضایی. سرعت حرکت هر موش در فاز به خاطر آوری. هیچ گونه تفاوت معنی داری بین گروهها دیده نشد.



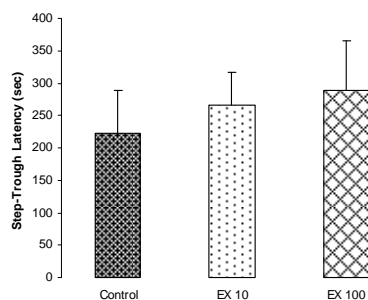
شکل ۲. اثرات میدان مغناطیسی بر توانایی یادگیری (زمان رسیدن به سکو) موشها بر اساس نوبت های آموزشی به تفکیک هر روز. داده ها به صورت میانگین \pm انحراف معیار میانگین نشان داده شده است. با پیش روی آموزش، سرعت یادگیری در هر دو گروه افزایش یافت و تفاوت معنی داری در هیچ کدام از روزهای آموزش دیده نشد. EX10: میدان با شدت ۱۰ میکروتسلا، EX100: میدان با شدت ۱۰۰ میکروتسلا.



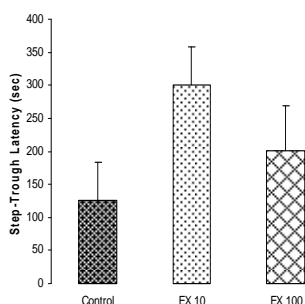
شکل ۳. اثرات میدان مغناطیسی بر حافظه فضایی. زمان سپری شده در هر یک از ربع های چهارگانه مخزن در فاز به خاطر آوری. ربع SW ربع هدف و ربع NE ربع مخالف است. هیچ گونه تفاوت معنی داری بین گروهها در هیچ یک از ربع های مخزن دیده نشد.

زمان گذرانده شده در یک ناحیه با شعاع ۲۰ سانتی متر در ربع هدف و ناحیه معادل آن در ربع مخالف. شکل ۴ زمان گذرانده شده در یک ناحیه با شعاع ۲۰ سانتی متر در ربع هدف و ناحیه معادل آن را در ربع مخالف نشان می دهد. آنالیز واریانس دو طرفه (منطقه \times گروه) حاکی از اثر معنی دار مناطق ($F_{1,64}=23.37, P=0.0001$)، فقدان اثر گروهها ($F_{2,64}=0.49, P=0.6$) و فقدان تعامل بین دو متغیر فوق است ($F_{2,64}=1.76, P=0.17$).

تعداد دفعات عبور از محل قبلی سکو. شکل ۵ تعداد دفعات عبور از محل قبلی سکو را نشان می دهد. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه حاکی از فقدان تفاوت معنی دار بین گروهها است ($F_{2,32}=2.4, P=0.1$).



شکل ۹. اثرات میدان مغناطیسی بر حافظه غیر فضایی کوتاه مدت. زمانی که طول کشیده است تا موش ۳ ساعت پس از آموزش دیدن، از محفظه روشن به محفظه تاریک وارد شود. این زمان یادگیری موش‌ها را نشان می‌دهد، لذا هیچ گونه تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها از نظر یادگیری دیده نشد.

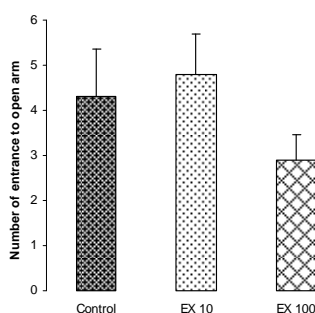


شکل ۱۰. اثرات میدان مغناطیسی بر حافظه غیر فضایی بلند مدت. زمانی که طول کشیده است تا موش ۲۴ ساعت پس از آموزش از محفظه روشن به محفظه تاریک وارد شود. تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده نشد.

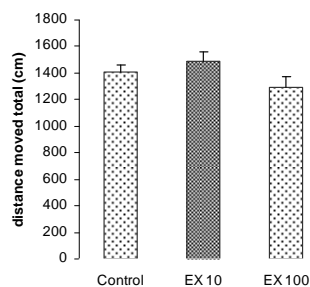
۴- اثر تابش مزمن ELF EF بر رفتارهای شبه اضطرابی

موش سفید بزرگ آزمایشگاهی (ماز بعلاوه ای مرتفع).

زمان سپری شده در بازوی باز. شکل ۱۱ زمانی را که موش در بازوی باز سپری کرده است، نشان می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه حاکی از فقدان تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها است ($F_{2,32}=2.26, P=0.1$).



شکل ۱۱. اثرات میدان مغناطیسی بر رفتارهای شبه اضطرابی. تعداد دفعاتی که موش به بازوی باز وارد شده است. تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها دیده نشد.



شکل ۷. اثرات میدان مغناطیسی بر حافظه فضایی. کل مسافت طی شده توسط هر موش در فاز به خاطر آوری. هیچ گونه تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها دیده نشد.

یافته‌های تست **visible** آنالیز واریانس دو طرفه (نوبت آموزشی × گروه) حاکی از عدم اثر معنی‌دار نوبت‌های آموزش ($F_{2,96}=2.6, P<0.07$)، اثر معنی‌دار گروه‌ها ($F_{2,96}=4.45, P=0.014$) و تعامل معنی‌دار بین دو متغیر فوق است ($F_{4,96}=8.39, P=0.0001$) (داده‌ها نشان داده نشده است).

۳- اثر تابش مزمن ELF EF بر یادگیری و حافظه

احترازی غیر فعال.

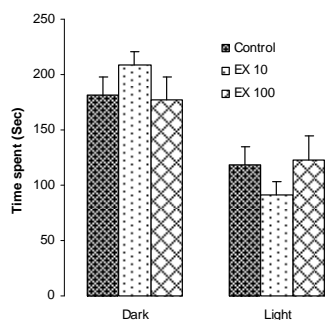
یافته‌های زمان آموزش (اکتساب یادگیری). آنالیز زمانی که طول کشیده است تا موش در طی آموزش وارد محفظه تاریک شود حاکی از فقدان تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها است ($F_{2,32}=3.11, P=0.06$).

یافته‌های تست به خاطر آوری کوتاه مدت. شکل ۹ زمانی که طول کشیده است تا موش ۳ ساعت پس از آموزش دیدن وارد محفظه تاریک شود را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه حاکی از فقدان تفاوت معنی‌دار بین دو گروه است ($F_{2,32}=0.26, P=0.7$).

یافته‌های تست به خاطر آوری بلند مدت. شکل ۱۰ زمانی که طول کشیده است تا موش ۲۴ ساعت پس از آموزش دیدن وارد محفظه تاریک شود را نشان می‌دهد. آنالیز آماری حاکی از عدم تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها است ($F_{2,32}=2.13, P=0.1$).

دهد. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه حاکی از فقدان تفاوت

معنی دار بین گروه‌ها است ($F_{2, 32}=1.74, P=0.19$).



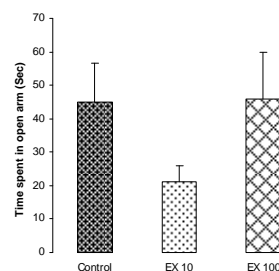
شکل ۱۴. اثرات میدان مغناطیسی بر رفتارهای شبه اضطرابی. زمانی که موش در محفظه تاریک یا روشن سپری کرده است. تفاوت معنی داری بین گروه‌ها دیده نشد.

بحث و نتیجه‌گیری

مهم‌ترین یافته‌های این مطالعه این است که تابش مزمن میدان الکترومغناطیسی (۱۰ یا ۱۰۰ میکروتسلا) با فرکانس ۵۰ هرتز تأثیری بر یادگیری و حافظه فضایی و احترازی غیر فعال و نیز رفتارهای شبه اضطرابی ندارد.

اعتبار روش استفاده شده برای ایجاد میدان الکترومغناطیسی. یک مدل استاندارد برای ساخت میدان الکترومغناطیسی وجود ندارد. در مطالعات مختلف از مدل‌های متفاوت میدان استفاده شده است. مدل استوانه‌ای [۲]، کروی [۲۳]، مجاورت با جعبه مولد میدان [۲۴] و اتاق حاوی میدان [۱] که هر یک مربوط به یکی از مراکز تحقیق و مطالعه الکترومغناطیسی است. ولی در تمامی آن‌ها از سیم‌پیچ‌هایی برای تولید میدان یکنواخت استفاده شده است که بر اساس مقدار میدان مورد نظر به صورت موازی یا سری با تعداد دوره‌های متفاوت به هم متصل می‌شوند.

در مدل مورد استفاده ما سیم پیچ‌ها در محیط یک مکعب مستطیل قرار گرفتند و فضایی را در بر می‌گرفتند که گنجایش چهار قفس متوسط را داشت. شدت میدان همواره در کل فضای محصور مابین سیم پیچ‌ها یکنواخت بود. در زمانی که دستگاه‌های مولد میدان خاموش بودند، شدت میدان ۱ میکروتسلا بود. شدت میدان روزانه به طور مرتب دو نوبت

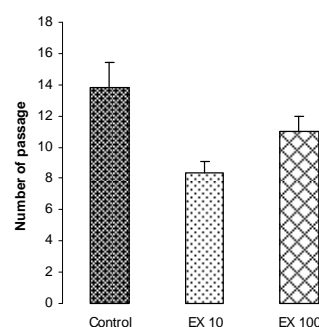


شکل ۱۲. اثرات میدان مغناطیسی بر رفتارهای شبه اضطرابی. مجموع زمانی که موش در بازوی باز سپری کرده است. تفاوت معنی داری بین گروه‌ها دیده نشد.

تعداد دفعات ورود به بازوی باز. شکل ۱۲ تعداد دفعاتی را که موش وارد بازوی باز شده است، نشان می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه حاکی از فقدان تفاوت معنی داری بین گروه‌ها است ($F_{2, 32}=1.22, P=0.3$).

۵- اثر تابش مزمن ELF EF بر رفتارهای شبه اضطرابی موش سفید بزرگ آزمایشگاهی در جعبه روشن-تاریک.

تعداد دفعات تردد بین محفظه تاریک و روشن. شکل ۱۳ تعداد دفعاتی را که موش بین محفظه تاریک و روشن تردد کرده است، نشان می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه حاکی از تفاوت معنی داری بین گروه‌ها است ($F_{2, 32}=6.66, P=0.003$).



شکل ۱۳. اثرات میدان مغناطیسی بر رفتارهای شبه اضطرابی. تعداد دفعاتی که موش بین دو محفظه تردد کرده است. تفاوت معنی داری بین گروه‌ها دیده شد.

زمان سپری شده در محفظه تاریک. شکل ۱۴ زمانی را که موش در محفظه تاریک یا روشن سپری کرده است، نشان می‌دهد.

کم مانند یک گوس نیز می تواند توسط مغز انسان ثبت شده و بر EEG اثر نمایند [۲۸]. Yoshika و همکارانش (۲۰۰۳) در مطالعه ای که با میدان ۵۰ هرتز و ۲۰ میکروتسلا، به مدت ۵۵ دقیقه، بر روی ۲۰ انسان جوان انجام دادند دریافتند که تابش کوتاه مدت این میدان بر کارایی شناختی انسان اثری ندارد [۹]. این یافته در راستای بررسی های قبلی این گروه است که نشان دادند میدان ۵۰ هرتز اثر حادی بر ترشح هورمون ها به ویژه ملاتونین و فعالیت سیستم عصبی خودمختار ندارد [۲۹]. در مجموع، به نظر می رسد که میدان های الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم در کوتاه مدت تأثیر برجسته ای بر فعالیت های شناختی و سایر فعالیت های انسانی نداشته باشد.

مطالعات حیوانی. در سال ۲۰۰۱، Sienkiowicz و همکارانش نشان دادند که تابش مختصر و حاد میدان های مغناطیسی کم فرکانس به مدت ۴۵ دقیقه بر قابلیت تمایز بین اشیای آشنا و جدید اثری ندارد [۳۰]. در یک مطالعه اخیر، ما مشاهده کردیم که تابش ۲۰ دقیقه ای میدان ۸ میلی تسلا و ۵۰ هرتز بلافاصله پس از مرحله آموزش در آزمون حافظه فضایی موریس، سبب تخریب تثبیت حافظه فضایی می شود [۸]. این مطالعه در تأیید مطالعاتی است که نشان دادند که میدان های مغناطیسی بر کارایی حافظه اثرات مخربی دارند [۳۱-۳۴].

Sienkiewicz نشان داد که قرار گرفتن موش های صحرایی برای مدت ۴۵ دقیقه در میدانی به شدت ۰/۷۵ میلی تسلا و ۵۰ هرتز پیش از قرار گرفتن موش ها در ماز رادیال موجب کاهش مهارت یادگیری فضایی خواهد شد و این عمل در چند روز اول آزمایش بیش تر مشاهده می شود ولی در نهایت موش های تحت آزمایش مانند گروه کنترل مهارت کامل را بدست می آورند [۳۵]. وی در سال ۱۹۹۸ به بررسی اثر میدان مغناطیسی ۵۰ هرتز با موج سینوسی بر روی یادگیری فضایی موش پرداخت. در این آزمایش از یک ماز رادیال ۸ بازویی استفاده شد و موش ها ۴۵ دقیقه قبل از آزمایش در میدان مغناطیسی بین ۷/۵ میکروتسلا و ۷/۵ میلی تسلا قرار

چک شد، مقدار آن ثبت می گشت، تغییرات احتمالی اصلاح و صحت یکنواختی آن تایید شد. موش ها ۲۸ شبانه روز کامل در این میدان زندگی کردند و تنها برای تمیز کردن قفس ها و تعویض پوشال های کف آن از محیط میدان خارج شدند. موش های گروه کنترل هم زمان در همین اتاق ولی در نواحی فاقد میدان نگهداری شدند.

اثرات میدان الکترومغناطیسی بر یادگیری و حافظه مطالعات انسانی. نتایج مطالعات انجام شده روی اثرات میدان الکترومغناطیسی در انسان و حیوان متناقض است. نتایج مطالعه Crasson و همکارانش روی ۱۸ مرد ۲۱-۳۵ سال (که به مدت یک هفته تحت تابش میدان ۱۰۰ میکروتسلا و ۵۰ هرتز به صورت مداوم قرار گرفته بودند) نشان داد که میدان روی فعالیت شناختی اثری ندارد [۲۴]. در مطالعه Trimmel مشخص شد یک ساعت در معرض میدان الکترومغناطیسی ۱ میکروتسلا و ۵۰ هرتز سبب کاهش فوری ادراک، شناخت و حافظه می شود [۲۵]. در مطالعه انجام شده توسط Podd، ۸۰ نفر که به ۲ گروه تقسیم شده بودند، تحت آموزش مهارت دیداری قرار گرفتند و اثرات حاد و دیررس میدان مغناطیسی ۵۰ میکروتسلا مطالعه شد. نتایج نشان دهنده آثار دیررس میدان بر دقت افراد بود. اما نمی توان پارامترهای مشخصی را بدین منظور تعیین کرد [۲۶]. Crasson نیز با بررسی اثر میدان مغناطیسی بر درک انسان بیان می نماید که اثرات میدان های مغناطیسی قوی بر عملکرد ادراک یکنواخت نیست و اختلاف مشاهده شده بین گروه مورد بررسی و گروه کنترل در آزمایش های مختلف اندک و زود گذر است و ارتباط واضحی را بین شدت میدان و پاسخ ایجاد شده ارائه نمی دهد [۲۴]. Kurokawa نیز تاثیر میدان مغناطیسی ۲۰ میکروتسلا را به مدت ۵۵ دقیقه بر مغز ۲۰ داوطلب بررسی کرد. از افراد خواسته شد که ۴ تست رفتاری ساده را اجرا نمایند. نتایج مشخص کرد که میدان های مغناطیسی کم فرکانس که در محیط کار وجود دارند نمی توانند بر مغز انسان اثر گذارند [۲۷]. همچنین Marino نیز در تحقیق خود مشخص کرد که میدان های مغناطیسی کم فرکانس حتی در شدت های

گرفتند. تابشگیری در بالای آستانه میدان فوق میزان خطای یادگیری را افزایش و میزان مهارت را کاهش داد. قرار گرفتن موش‌ها در مدت ۴۵ دقیقه و برای ۴ روز متوالی در میدان‌های فوق اثری بر مهارت نداشت. این اثرات بستگی به قدرت میدان داشت. او اعلام کرد که اختلاف در مهارت حیوانات که در نتایج آزمایش‌ها دیده می‌شود، بستگی به تنوع مطالعات، گونه‌های تحت آزمایش و روش‌های آزمون دارد. اما در مجموع پیشنهاد کرد که میدان مغناطیسی موجب اختلال در یادگیری، فضایی و عملکرد حافظه جوندگان می‌شود [۳۶]. McKay نشان داد که اثر میدان مغناطیسی در مراحل قبل و پس از فرایند یادگیری یکسان نیست. او با استفاده از یک ماز رادیال دریافت که ۶۰ دقیقه تابش دهی موش در میدان مغناطیسی ۲۰۰-۵۰۰ نانو تسلا قبل از اجرای مرحله آموزشی موجب اختلال در حافظه فضایی می‌شود. در حالی که تابش دهی قبل از تست نهایی با کاهش سرعت پاسخ دهی همراه است [۳۷].

اثرات تابش مزمن میدان بر فعالیت‌های شناختی متناقض است. در سال ۲۰۰۲، Mostafa و همکارانش در مصر نشان دادند که تابش مزمن میدان ۵۰ هرتز و ۲ گوس (۰/۰۰۰۲ تسلا) افزایش قابل ملاحظه‌ای در سطح کورتیکوسترون پلازما ایجاد می‌کند و نیز قابلیت تمایز بین اشیای آشنا و جدید را مختل می‌کند. در این مطالعه موش‌ها را ۲۴ ساعت در شبانه روز به مدت ۱، ۲ و ۴ هفته در معرض تابش میدان قرار دادند [۳۸]. این مطالعه بیان می‌کند که تابش مزمن میدان قابلیت شناخت تمایزی را در جوندگان مختل می‌کند. همچنین Fu و همکارانش اثر کوتاه مدت (۷ روزه) و بلند مدت (۲۵ روزه) تابش ELF EF را بر حافظه شناخت فضایی در موش سفید کوچک آزمایشگاهی در ماز شناختی Y بررسی کردند که بر پایه تمایل فطری جونده برای یافتن شیء ناآشنا و جدید است. موش‌ها در میدان ۲۵ هرتز و ۵۰ هرتز در مدت ۷ روز و ۲۵ روز قرار گرفتند و سپس در ماز Y آزمون شدند. نتایج آنها نشان می‌دهد که نه تابش کوتاه مدت و نه بلند مدت بر فعالیت‌های حرکتی موش در ماز Y اثر ندارد ولی تابش بلند

مدت میدان ۵۰ هرتز شناخت بازوی جدید را کاهش می‌دهد. این یافته نشان می‌دهد که ELF EF حافظه شناخت فضایی را در ماز Y مختل می‌کند که به شدت میدان و مدت زمان تابش بستگی دارد [۱۱].

یکی از آخرین مطالعات انجام شده در ۲۰۰۸ نتایج جالبی دارد: Liu و همکارانش اثر میدان مغناطیسی ۲ میلی تسلا و ۵۰ هرتز را به مدت ۴ هفته روزانه ۴-۱ ساعت بر حافظه فضایی و یادگیری به وسیله آزمون ماز آبی موریس بررسی کردند. آنها دریافتند که تابش مزمن ELF EF تاخیر موش را جهت یافتن سکوی مخفی زیر آب کاهش می‌دهد و حافظه بلند مدت از جایگاه اولیه این صفحه را بهبود می‌بخشد، بدون آنکه حافظه کوتاه مدت و فعالیت حرکتی را تغییر دهد. این یافته‌ها برای نخستین بار خاطر نشان می‌کند که تابش مزمن ELF EF اثر مثبتی بر اکتساب و باقی ماندن حافظه فضایی اعمال می‌کند [۱۰]. در راستای این نتایج، اخیراً مطالعه دیگری در ایران در دانشگاه آزاد مشهد انجام شده است که در آن اثر تابش مزمن ۱ و ۲ هفته‌ای میدان ۲ میکروتسلا و ۵۰ هرتز ۱۰ روز به مدت ۴-۱ ساعت بر حافظه فضایی در ماز آبی موریس بررسی شد. آن‌ها دریافتند که تابش مزمن میدان آبی موریس به سکو را کاهش می‌دهد و حافظه بلند مدت از محل قبلی سکو را بهبود می‌بخشد بدون آنکه بر روی فعالیت حرکتی تأثیری بگذارد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تابش مزمن میدان تأثیر مثبتی بر فاز آموزش و تثبیت حافظه فضایی دارد [۳۹].

نتایج مطالعه ما نشان داد که تابش میدان بر توانایی یادگیری و حافظه فضایی در موش‌ها اثری ندارد. همچنین، از نظرتوانایی حرکتی بین دو گروه تفاوتی مشاهده نشد. این عدم تاثیر بر توانایی حرکتی در تست حرکتی، تست سکوی قابل رویت و بررسی سرعت شنای موش‌ها مشاهده شد. نکته مهم دیگر این که عدم تاثیر میدان بر یادگیری و حافظه با بررسی چندین متغیر مهم مشاهده شد. برای مثال، نشان داده شده است که بین دو گروه تفاوتی در زمان گذرانده شده در ناحیه ۲۰ سانتی متری در ربع هدف و مقابل آن و نیز میانگین فاصله

نتیجه گیری. یافته های این مطالعه نشان می دهد تابش مزمن (۱۰ و ۱۰۰ میکروتسلا و ۵۰ هرتز) میدان تأثیری بر یادگیری و حافظه و نیز رفتارهای شبه اضطرابی ندارد.

تشکر و قدردانی

هزینه انجام این تحقیق از محاسبات پژوهشی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی سمنان در قالب طرح تحقیقاتی تامین شده است.

منابع

- 1- Pestic V, Janac B, Jelenkovic A, Vorobyov V, Prolic Z. Non-linearity in combined effects of ELF magnetic field and amphetamine on motor activity in rats. *Behav Brain Res* 2004; 150: 223-227.
- 2- Janac B, Pestic V, Jelenkovic A, Vorobyov V, Prolic Z. Different effects of chronic exposure to ELF magnetic field on spontaneous and amphetamine-induced locomotor and stereotypic activities in rats. *Brain Res Bull* 2005; 67:498-503.
- 3- Lei Y, Liu T, Wilson FAW, Zhou D, Ma Y, Hu X. Effects of extremely low-frequency electromagnetic fields on morphine-induced conditioned place preferences in rats. *Neurosci Lett* 2005; 390: 72-75.
- 4- Manikonda PK, Rajendra P, Devendranath D, Gunasekaran B, Channakeshava, Aradhya RSS, et al. Influence of extremely low frequency magnetic fields on Ca²⁺ signaling and NMDA receptor functions in rat hippocampus. *Neurosci Lett* 2007; 413:145-149.
- 5- Graham C, Sastre A, Cook MR, Gercovich MM. Nocturnal magnetic field exposure: gender-specific effects on heart rate variability and sleep. *Clin Neurophysiol* 2000; 111:1936-1941.
- 6- McKay BE, Persinger MA. Weak, physiologically patterned magnetic fields do not affect maze performance in normal rats, but disrupt seized rats normalized with ketamin: Possible support for a neomatrix concept? *Epilepsy Behav* 2006; 8:137-144.
- 7- Jelenkovic A, Janac B, Pestic V, Jovanovic DM, Vasiljevic I, Prolic Z. Effects of extremely low-frequency magnetic field in the brain of rats. *Brain Res Bull* 2006; 68:355-360.
- 8- Jadidi M, Firoozabadi SM, Rashidy-Pour A, Sajadi AA, Sadeghi H, Taherian AA. Acute exposure to a 50 Hz magnetic field impairs consolidation of spatial memory in rats. *Neurobiol Learn Mem* 2007; 88:387-392.
- 9- Kurokawa Y, Nitta H, Imai H, Kabuto M. No influence of short-term exposure to 50-Hz magnetic fields on cognitive performance functions in human. *Int Arch Occup Environ Health* 2003; 76:437-442.
- 10- Liu T, Wang S, He L, Ye K. Chronic exposure to low-intensity magnetic field improves acquisition and maintenance of memory. *Neuroreport* 2008; 26:549-552.
- 11- Fu Y, Wang C, Wang J, Lei Y, Ma Y. Long-term exposure to extremely low-frequency magnetic fields impairs spatial recognition memory in mice. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2008.
- 12- Liu T, Wang S, He L, Ye K. Anxiogenic effect of chronic exposure to extremely low frequency magnetic field in adult rats. *Neurosci Lett* 2008; 434:12-17.
- 13- Morris RGM, Gurrud P, Rawllins JNP, Okeefe J. Place navigation impaired in rats with hippocampal lesion. *Nature* 1982; 297:681-683.
- 14- Marrone DF. Ultrastructural plasticity associated with hippocampal-dependent learning: A meta-analysis. *Neurobiol Learn Mem* 2007; 87:361-371.
- 15- D'Hooge R, De Deyn PP. Application of the Morris water maze in the study of learning and memory. *Brain Res* 2001; 36:60-90.
- 16- Ebrahimi S, Rashidy Pour A, Vafaei AA, Akhavan MM. Central β -adrenergic receptors play an important role in the enhancing effect of voluntary exercise on learning and memory in rat. *Behav Brain Res* 2010; 208: 189-193.

حرکت موش از سکو در طی تست به خاطر آوری که دو شاخص بسیار حساس تغییرات حافظه است [۴۰] وجود ندارد. این نتایج نشان می دهند که تابش مزمن میدان مغناطیسی اثری بر یادگیری و حافظه فضایی ندارد. همچنین، یافته های ما نشان داد که تابش مزمن میدان تأثیری بر حافظه کوتاه مدت و بلند مدت در مدل یادگیری و حافظه احترازی غیرفعال ندارد. حافظه کوتا مدت مستقل از سنتز پروتین است ولی حافظه بلند مدت نیازمند افزایش بیان ژن ها و سنتز پروتین ها است.

هرچند که مطالعات گذشته اثرات مخرب تابش حاد میدان های الکترومغناطیسی را بر حافظه تایید کرده اند، اثرات تابش مزمن هنوز کاملاً شناخته شده نیستند. گرچه گروه تحقیقاتی Mostata در مصر اثرات مخرب میدان با شدت ۲۰۰ میکروتسلا را اثبات کرده است [۳۸]. مطالعات اخیر اثرات مثبت میدان های مزمن با شدت کم را تایید می کنند. در ۲ مطالعه اخیر با شدت های ۲۰۰۰ میکروتسلا [۱۰، ۳۹]. در مطالعه ما میدان فاقد هر گونه اثری بر یادگیری و حافظه فضایی و غیر فضایی بود. از این رو، اثرات تابش میدان روی فعالیت شناختی هنوز متناقض است و نیازمند مطالعات بیشتری است.

اثرات میدان بر رفتارهای شبه اضطرابی. در این مطالعه تابش مزمن اثری بر رفتارهای شبه اضطرابی در دو مدل تست اضطراب نداشت. لذا می توان نتیجه گرفت که میدان ۱۰ میکرو تسلا حتی در شرایط مزمن بودن نیز نمی تواند اثرات اضطراب آور ایجاد کند. تا آنجایی که اطلاع داریم، تا کنون فقط یک مطالعه روی خواص اضطراب زایی میدان انجام شده است و نتایج نشان داده است که تابش مزمن میدان به میزان ۱۰۰ برابر مطالعه کنونی به مدت ۱ تا ۴ ساعت و به مدت ۲۰ روز سبب افزایش اضطراب موش ها در آزمون ماز به علاوه ای مشکل مرتفع می شود [۱۴]. بنابراین، احتمال دارد میدانهای قوی تر بتواند خواص اضطراب زدایی بیش تری داشته باشد.

- 29- Hong SC, Kurokawa Y, Kabuto M, Ohtsuka R. Chronic exposure to ELE magnetic fields during night sleep whit electric sheet: effects on diurnal melatonin rhythms in men. *Bioelectromagnetics* 2001; 22: 138-143.
- 30- Sienkiewicz ZJ, Bartram R, Haylock RG, Saunders RD. Single, brief exposure to a 50 Hz magnetic fields dose not affect the performance of an object recognition task in adult mice. *Bioelectromagnetics* 2001; 22: 19-26.
- 31- Kavaliers M, Ossencopp KP, Prato FS, Innes DG, Galea LA, Kinsella DM. Spatial learning in deer mice: sex differences and the effect of endogenous opioids and 60 Hz magnetic fields. *J Compara Physiol* 1996; 179: 715-724.
- 32- Lai H. Spatial learning deficit in the rat after exposure to a 60 Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics* 1996; 17:494-496.
- 33- Lai H. spatial learhihg deficit in the rat afterexposure to a 60 Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics* 1669; 17: 494-496.
- 34- Lai H, Carino MA, Ushijima I, Acute exposure to a 60 Hz magnetic field affect water-maze performance in the rat. *Bioelectromagnetics* 1998; 19: 117-122.
- 35- Sienkiewicz ZJ, Haylock RG, Bartrum R, Saunders RD. 50 HZ magnetic field effect on the performance of a spatial learning task by mice. *Bioelectromagnetics* 1998; 19:486-493.
- 36- Sienkiewicz ZJ, Haylock RG, Saunders RD. Deficit in spatial learning after exposure of mice to a 50 Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics* 1998; 19(2): 79-84.
- 37- McKay BE, Persinger MA. Application timing of complex magnetic fields delineates windows of posttraining-pretesting vulnerability for spatial and motivational behaviors in rats. *Int J Neurosci* 2000; 103: 69-77.
- 38- Mostafa RM, Mostafa YM, Ennaceur A. Effects of extremely low-frequency magnetic fields of 2 G intensity on memory and corticosterone level in rats. *Physiol Behav* 2002; 76: 589-595.
- 39- Kafae M, Tehranipour M, Haghpeima A. Effects of exposure to extremely low-frequency magnetic field of 2 μ T intensity on spatial memory and learning in mice. *Ann Gen Psychiatry* 2010 9(Suppl 1): S129.
- 40- Maei HR, Zaslavsky K, Teixeira CM, Frankland PW. What is the most sensitive measure of water maze probe test performance? *Front Integr Neurosci* 2009; 3: 1-9.
- 17- Hadjisoltani R, Rashidy-Pour A, Vafaei AA, Bandegi AR, Motamedi F. Role of the glucocorticoid system in the exercise-induced enhancement of learning and memory in rats, *Behav Brain Res* 2011; 219: 75-81.
- 18- Pakdel R, Rashidy-Pour A. Glucocorticoid-induced impairment of long-term memory retrieval in rats: an interaction with dopamine D2 receptors. *Neurobiol Learn Mem* 2006; 85:300-306.
- 19- Vafaei AA, Rashidy-Pour, Taherian AA, Peripheral injection of dexamethasone modulation anxiety related behavior in mice: an interaction with opioidergic neurons, *Pak J Pham Sci* 2008; 21(3): 285-289.
- 20- Rashidy-Pour A, Vafaei AA, Hesami E, Taherian AA. Evaluation the role of nitric oxide in corticosterone effect's on anxiety like behaviors in mice, *J Golestan Univ Med Sci* 2008; 10(1): 5-11. (Persian)
- 21- Bilkeir- Gorzo A, Gyertyan I, Levay G. mCPP induced anxiety in the light-dark box in rats- a new method for screening anxiolytic activity. *Psychopharmacology (Ber)* 1998; 136: 291-298.
- 22- Clement Y, Joubert C, Kopp C, Lepicard EM, Venault P, Misslin R, et al. Anxiety in mice: a principal component analysis study. *Neural Plast* 2007; 2007: 35457-35465.
- 23- Cristina D S, Lorena M, Elena C, Paolo L, Sergio G. Effects of magnetic field exposure on open field behaviour and nociceptive responses in mice. *Behav Brain Res* 2003; 144: 1-9.
- 24- Crasson M. 50-60 Hz electric and magnetic field effect on cognitive function in humans: a review. *Radiat Prot Dosimetry* 2003; 106: 333-340.
- 25- Trimmel M, Schweiger E. effect of an ELF (50 Hz, 1 mT) electro magnetic field (EMF) on concentration in visual attention, perception and memory including effect of ENF sensitivity. *Toxicol Lett* 1998; 69: 377-382.
- 26- Podd J, Abbott J, Kazantzis N, Rowland A. Brief exposure to a 50 Hz, 100 μ T magnetic field: effects on reaction time, accuracy and recognition memory. *Bioelectromagnetics* 2002; 23: 189-195.
- 27- Kurokawa Y, Nitta H, Imai H, Kabuto M. No influence of short-term exposure to 5 Hz magnetic fields on cognitive performance functions in human. *Int Arch Occup Environ Health* 2003; 76: 437-442.
- 28- Marrino AA, Nilsen E, Chesson JAL, Frilou C. effect of low-frequency magnetic fields on brain electrical activity in human subjects. *Clin Neurophysiol* 2004; 115: 1195-1201.

Effects of extremely low-frequency electromagnetic fields on learning and memory and anxiety-like behaviors in rats

Zahra Akhtary (M.D), Ali Rashidy-Pour (Ph.D)*, Abbas Ali Vafaei (Ph.D), Majid Jadidi (Ph.D)
Lab. of Learning and Memory, Department and Research Center of Physiology, Semnan University of Medical Sciences, Iran

(Received: 7 Dec 2010 Accepted: 3 Apr 2011)

Introduction: Although past research has suggested that acute exposure to the extremely low-frequency electromagnetic fields (ELFEFs) can impair cognitive functions, data on chronic exposure remained scarce. Only a few studies investigated the effects of chronic ELFEFs on cognitive functions, but the results are controversial. Thus, the aim of the present study was to study whether chronic exposure to ELFEFs can affect cognitive functions and anxiety-like behaviors in rats.

Materials and Methods: Thirty-five male Wistar were divided into control and exposed (10 or 100 μ T). Exposed rats were continuously exposed to a 50 Hz magnetic field of 10 or 100 μ T for four weeks. Then, cognitive functions of all rats were tested in the Morris water maze and passive avoidance tasks. Also, anxiety-related behaviors of all rats were examined in the elevated- plus maze and light-dark box.

Results: No significant differences were found between control and exposed in learning acquisition, memory retention and anxiety-related behaviors.

Conclusion: Our results showed that chronic exposure to ELFEFs neither change cognitive functions nor anxiety-related behaviors in rats.

Keywords: Extremely low-frequency electromagnetic fields, Learning, Memory, Anxiety-like behaviors, Rat

* Corresponding author: Fax: +98 231 3354186; Tel: +98 231 3354186
rashidy-pour@sem-ums.ac.ir