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 رشیدی‌پور * (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 داده‌اند که تابش حاد میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم رفتارهای شناختی را مختل می‌کند، 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 وغیر فضایی و رفتارهای شبه اضطرابی بود.

مواد و روش‌ها: ۳۵ 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 قفس‌های مخصوص کاملاً فایبرگلاس در محوطه میدان مغناطیسی یکنواخت (۱۰ یا ۱۰۰ میکروتسلا) زندگی کردند. پس از این مدت موش‌ها در آزمون‌های ماز بعلاوه‌ای شکل مرتفع و جعبه تاریک-روشن از نظر اضطراب و ماز آبی موریس و دستگاه احترازی غیر فعال از نظرحافظه فضایی و غیر فضایی آزمون شدند.

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

تیجه‌گیری: این یافته‌ها نشان می‌دهند 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 .

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

مقدمه

در طول قرن اخیرتماس با میدان‌های الکترومغناطیسی روبه افزایش است. امروزه هرکسی با میدان‌های الکترومغناطیسی بسیار متنوعی در محیط کار و منزل، از طریق تولید یا انتقال برق، دستگاه‌های خانگی و ماشین آلات صنعتی و نیز سیستم‌های مخابراتی و صوتی و تصویری در تماس است. با وجود فواید بی‌نظیر در گسترش استفاده از الکتریسته، یک نگرانی مهم در مورد تماس با امواج الکترومغناطیسی این است که مقادیر اندک آن بتواند پیامدهای مضری بر سلامت بشر داشته باشد [۱].میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس‌های بسیار کم- ELFEF (Extremely low Frequency Electromagnetic Fields)، همان میدان ایجاد شده از خطوط نیروی نزدیک به محل‌های سکونت، یا سیم کشی‌های برق خانگی و یا ابزارهای پزشکی است. گزارش‌هایی مبنی بر اثرات بیولوژیکی مختلف ناشی از ELFEF از جمله تداخل با فعالیت مغز ، ایجاد آسیب رفتاری و شناختی [۲]، تغییر فعالیت حرکتی [۳، ۴] تغییر فعالیت سیستم درد [۵] ،تغییر فعالیت گیرنده‌های N متیل D آسپارتیک اسید (NMDA) و پیام‌دهی کلسیم در هیپوکمپ [۶] و نیز اثر امواج شبانه بر ضربان قلب و خواب [۷] وجود

* نویسنده مسئول، تلفن: ۳۳۵۴۱۸۶ ۰۲۳۱ نمابر: ۳۳۵۴۱۸۶ ۰۲۳۱
Email: rashidy-pour@sem-ums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱/۱۴

Archive of SID
www.SID.ir

دارد.

با توجه به صنعتی شدن جوامع و افزایش تماس‌های انسان‌های مختلف در سنین متفاوت با این وسایل، در سال‌های اخیر توجه خاصی به اثرات ELFEF 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 ناهماهنگ و حتی متناقض است [۲]. در حالی‌که در برخی از مطالعات آمده است که میدان های 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 ELFEF می‌تواند قابلیت تثبیت حافظه فضایی را مختل کند [۱۰]. با این حال در یک مطالعه بیان شده است که ELFEFهایی 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 ELFEFسبب اختلال حافظه فضایی می شود و این امر به مدت تابش و شدت میدان بستگی دارد [۱۳]. ولی یک مطالعه اخیر نشان داده است که تابش مزمن ELFEF اثر مثبتی به اکتساب حافظه فضایی دارد [۱۲].

از طرف دیگر، مطالعات گذشته یک نوع رابطه را بین ELFEF و برخی از جنبه‌های روانی انسان و حیوان پیشنهاد می‌کند. برخی یافته‌ها حاکی از آن است که تماس مزمن با ELFEFاثرات 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 ELFEF انجام شده است، بسیار کم است و این مطالعات در ابتدای راه است [۱۴].

با توجه به نتایج ضد و نقیض در مورد اثراتELFEF 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 ELFEF بر یادگیری و حافظه فضایی و غیر فضایی و نیز رفتارهای شبه اضطرابی است.

مواد و روش‌ها

حیوانات آزمایشگاهی. موش های 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. موش ها، به صورت تصادفی به سه گروه کنترل (n=۱۰) و گروه در معرض میدان با شدت ۱۰ میکروتسلا (n=۱۰) و شدت ۱۰۰ میکروتسلا (n=۱۵) 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 قرارگرفتند و آب و غذا در دسترس آنها قرار داشت (شکل ۱). میدان گنجایش ۴ قفس متوسط را داشت. موش های گروه مورد به مدت ۴ هفته در میدان روشن زندگی کردند و موش های گروه شاهد در همان زمان در قفس های 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 میلی‌متر، تعداد دور هر سیم پیچ ۵۰ دور، فاصله دو سیم پیچ ۱۰ سانتی‌متر و هیچ فلزی در آن استفاده نشد. شدت میدان در محدوده مرکزی آن ۲±۱۰ 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 قفس ها در محدوده ۷۰٪ میانی میدان

www.SID.ir

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

شکل۱. بساط ایجاد میدان الکترومغناطیس

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 تسلامتر 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 سانتی‌متر قطر و ۵۵ سانتی‌متر 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 سکو توسط یک پایه روی کف مخزن نگهداری می‌گردید. سکوی فوق فقط وسیله‌ای برای فرار حیوان از آب بود. اتاقی که ماز درآن قرار داشت حاوی اجسام و علامت‌های اضافی تعبیه شده از قبیل پوستر وقفسه وپنجره‌ها و غیره بود [۱۵].

حرکت و رفتار حیوان به وسیله یک دوربین تلویزیونی مادون قرمز که در ارتفاع دو متری بالای ناحیه مرکزی مخزن قرارگرفته ردیابی و تشخیص داده شده وکنترل 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 پلگسی گلاس زیر 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 نبود با دست به طرف آن هدایت می‌شد. مدت زمان پیدا کردن سکو 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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 موش ها در هر بار به ترتیب از نقاط NE، SE وSW 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 بارآموزش اندازه گیری می‌شد.

یادگیری احترازی غیر فعال

دستگاه احترازی غیر فعال. دستگاه یادگیری احترازی غیرفعال (Model 2007, Ugo Basile, Spain) یک محفظه پلکسی گلاس‌مکعب مستطیل شکل است که توسط یک درب گیوتینی به دو قسمت روشن و تاریک تقسیم می‌شود. درکف هر دو بخش میله‌های ضد زنگ۳ 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، 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. هرموش ابتدا در قسمت روشن دستگاه پشت به درب قرار داده می‌شد و وقتی که موش به طرف درب می چرخید درب باز می‌شد و اجازه داده می‌شد حیوان وارد قسمت تاریک شود. بلافاصله درب بسته می‌شد و حیوان پس از۲۰-۱۵ ثانیه از قسمت تاریک گرفته و به قفس بازگردانیده می‌شد. این روش برای یک بار دیگر درفاصله 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 بخاطرآوری. ۳ ساعت بعد از آموزش تست به خاطرآوری حافظه کوتاه مدت و۲۴ ساعت پس از آموزش تست به خاطرآوری 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 بعلاوه‌ای 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 ۴۰×۱۰×۵۰ 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

Archive of SID
www.SID.ir

اطاق بالاتر قرار می‌گیرد. 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 جعبه‌ای به ابعاد ۱۰×۴۰×۳۰ سانتی‌متر قرار می‌گرفت 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 شاخص‌های استاندارد ارزیابی اضطراب ازطریق مشاهده آن‌ها بررسی و فعالیت‌های جستجو گرانه ثبت می‌شد. افزایش ورود به بازوهای باز و افزایش مدت سپری شده در بازوی باز شاخص کاهش اضطراب در موش تلقی می‌شد. همچنین قضاوت در مورد اختلاف معنی دار سطح اضطراب بدین صورت است که اگر همزمان 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 معنی‌داری با گروه کنترل داشته باشد، به عنوان تغییرمعنی‌دار سطح اضطراب تلقی می‌شد [۲۰].

تست اضطراب در جعبه تاریک – روشن

دستگاه جعبه تاریک – روشن. این دستگاه شامل یک محفظه پلکسی گلاس‌مکعب مستطیل با طول ۹۱ سانتی‌متر، عرض ۲۰ سانتی‌مترارتفاع ۲۰ سانتی‌مترمی باشد. دستگاه توسط یک درب گیوتینی به دو قسمت روشن به طول ۳۱ سانتی‌متر و تاریک ۶۰ سانتی‌متر تقسیم می‌شود. درکف هر دو بخش میله‌های ضد زنگ به فاصله یک سانتی متر از هم قرار دارند. جوندگان ترجیح می‌دهند بیشتر زمان خود را در تاریکی به سر برند. موش‌هایی که اضطراب بیش‌تری دارند زمان بیش‌تری را در نیمه تاریک جعبه سپری می‌کنند ولی موش‌هایی که اضطراب کمتری دارند تقریباً برای کاوش و تفحص در هر دو قسمت تاریک و روشن جعبه زمان کافی صرف می‌کنند. اعتبار الگوی تاریک و روشن در جوندگان به عنوان یک روش اندازه‌گیری با استفاده از ترکیبات شناخته 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 می‌شد و رفتارش به مدت ۵ دقیقه مورد بررسی قرار می‌گرفت و شاخص‌های زیر ثبت می‌شدند:

- 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 وروشن رفت وآمد می‌کرد [۲۲].

نتایج

۱ – اثر تابش مزمن ELFEF بر یادگیری فضایی

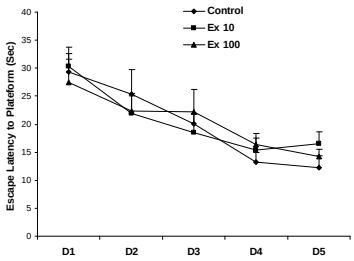
یافته‌های زمان آموزش: زمان رسیدن به سکو. شکل ۲ زمان رسیدن به سکو را در نوبت‌های آموزشی مختلف دردو گروه در هر روز به ترتیب روزها نشان می‌دهد. به منظور بررسی تفاوت‌های ریز در توانایی یادگیری موش‌ها، داده‌های هر روز (گروه × نوبت آموزش) به صورت مجزا آنالیز شدند. نتایج حاکی از اثرات معنی‌دار نوبت‌های آموزش در هر روز و عدم تفاوت بین گروه‌ها و فقدان تعامل معنی دار بین گروه‌ها و نوبت‌های آموزش است. در مجموع آنالیز واریانس دو طرفه (گروه × روز) حاکی از اثرات معنی دار روزهای آموزش ($F_{4,128}$=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 ELFEF بر حافظه فضایی

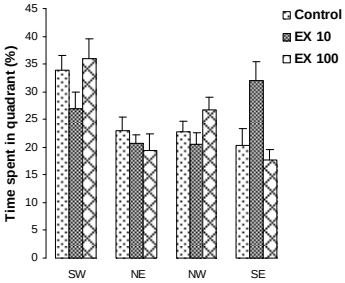
زمان گذرانده شده در ربع‌های چهار گانه. شکل ۳ زمان گذرانده شده در ربع هدف، ربع مخالف و ربع های NW, SE را نشان می‌دهد. آنالیز واریانس دو طرفه (منطقه × گروه) حاکی از اثر معنی دار ربع های چهار گانه ($F_{3,128}$=9.31, P=0.0001)، فقدان اثر گروه‌ها ($F_{2,128}$=0.033, P=0.96) و تعامل معنی دار بین دو متغیرفوق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

Archive of SID

www.SID.ir



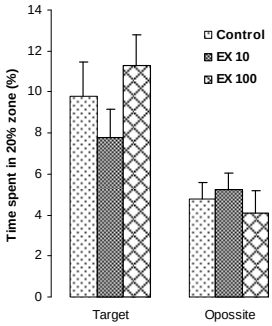
شکل ۲. اثرات میدان مغناطیسی بر توانایی یادگیری (زمان رسیدن به سکو) موش‌ها بر اساس نوبت‌های آموزشی به تفکیک هر روز. داده‌ها به صورت میانگین ± انحراف معیار میانگین نشان داده شده است. با پیش‌روی آموزش، سرعت یادگیری در هر دو گروه افزایش یافت و تفاوت معنی‌داری در هیچ کدام از روزهای آموزش دیده نشد. Ex10: میدان با شدت ۱۰ میکروتسلا، Ex100: میدان با شدت ۱۰۰ میکروتسلا.



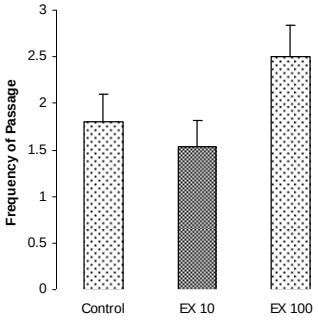
شکل ۳. اثرات میدان مغناطیسی بر حافظه فضایی. زمان سپری شده در هر یک از ربع‌های چهارگانه مخزن در فاز به خاطرآوری. SW ربع هدف و NE ربع مخالف است. هیچ گونه تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها در هیچ یک از ربع های مخزن دیده نشد.

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 می‌دهد. آنالیز واریانس دو طرفه (منطقه × گروه) حاکی از اثر معنی‌دار مناطق ($F_{1,64}$=23.37, P=0.0001)، فقدان اثر گروه ها ($F_{2,64}$=0.49, P=0.6) و فقدان تعامل بین دو متغیرفوق 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 می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه حاکی ازفقدان تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها است ($F_{2,32}$=2.4, P=0.1).



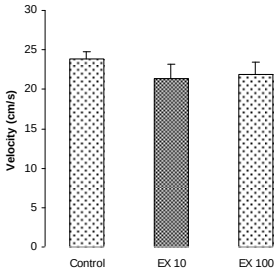
شکل ۴. اثرا ت میدان مغناطیسی بر حافظه فضایی. زمان سپری شده در یک ناحیه با شعاع ۲۰ سانتی متر از مرکز سکو در ربع هدف و ناحیه معادل آن در ربع مخالف در فاز به خاطرآوری. تفاوت معنی داری بین گروهها در هیچ یک از دو ناحیه دیده نشد.



شکل ۵. اثرا ت 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 ازفقدان تفاوت معنی دار بین گروه ها است ($F_{2,32}$=0.71, P=0.49).

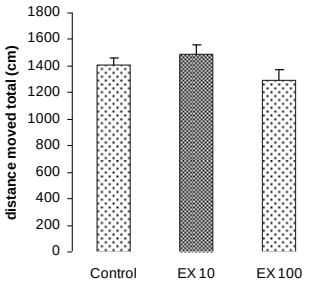
کل مسافت طی شده. شکل ۷ کل مسافت طی شده را نشان می دهد. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه حاکی ازفقدان تفاوت معنی دار بین گروه ها است ($F_{2,32}$=1.69, P=0.2).



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.

Archive of SID

www.SID.ir



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

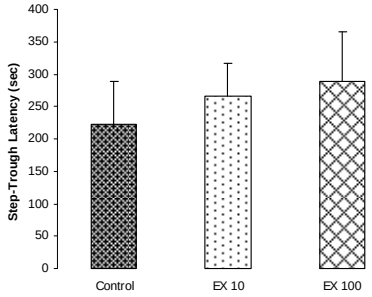
یافته های تست visible. آنالیز واریانس دو طرفه (نوبت آموزشی × گروه) حاکی از عدم اثر معنی دار نوبت‌های آموزش ($F_{2,96}$=2.6, P<0.07)، اثر معنی دار گروه‌ها ($F_{2,96}$=4.45, P=0.014) و تعامل معنی دار بین دو متغیرفوق است ($F_{4,96}$=8.39, P=0.0001) (داده ها نشان داده نشده است).

۳- اثر تابش مزمن ELFEF بر یادگیری و حافظه احترازی غیر فعال.

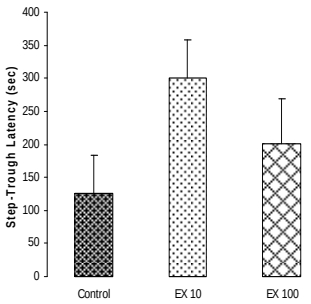
یافته‌های زمان آموزش (اکتساب یادگیری) . آنالیز زمانی که طول کشیده است تا موش در طی آموزش وارد محفظه تاریک شود حاکی ازفقدان تفاوت معنی دار بین گروه‌ها است ($F_{2,32}$=3.11, P=0.06).

یافته های تست به خاطرآوری 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 ازفقدان تفاوت معنی دار بین دو گروه است ($F_{2,32}$=0.26, P=0.7).

یافته های تست به خاطرآوری 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 معنی دار بین گروهها است ($F_{2,32}$=2.13, P=0.1).



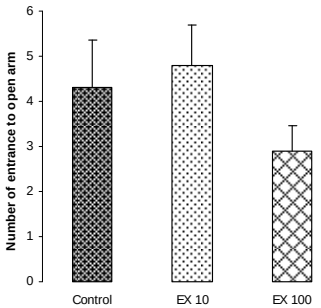
شکل ۹. اثرا ت میدان مغناطیسی بر حافظه غیر فضایی کوتاه مدت. زمانی که طول کشیده است تا موش ۳ ساعت پس از آموزش دیدن، از محفظه روشن به محفظه تاریک وارد شود. این زمان یادگیری موش‌ها را نشان می‌دهد، لذا هیچ گونه تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها از نظر یادگیری دیده نشد.



شکل ۱۰. اثرا ت 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 معنی داری بین گروهها مشاهده نشد.

۴- اثر تابش مزمن ELFEF بر رفتارهای شبه اضطرابی موش سفید بزرگ آزمایشگاهی (ماز بعلاوه ای مرتفع).

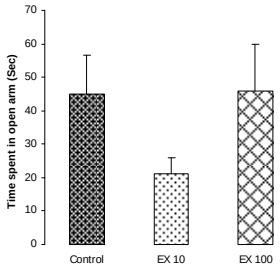
زمان سپری شده در بازوی باز. شکل ۱۱ زمانی را که موش در بازوی باز سپری کرده است، نشان می دهد. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه حاکی ازفقدان تفاوت معنی دار بین گروه‌ها است ($F_{2,32}$=2.26, P=0.1).



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

Archive of SID

www.SID.ir

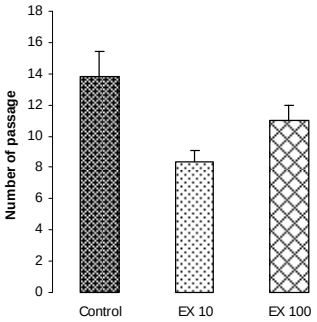


شکل ۱۲. اثرا ت میدان مغناطیسی بر رفتار های شبه اضطرابی. مجموع زمانی که موش در بازوی باز سپری کرده است. تفاوت معنی داری بین گروهها دیده نشد.

تعداد دفعات ورود به بازوی باز. شکل ۱۲ تعداد دفعاتی را که موش وارد بازوی باز شده است، نشان می دهد. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه حاکی ازفقدان تفاوت معنی دار بین گروه ها است ($F_{2, 32}$=1.22, P=0.3).

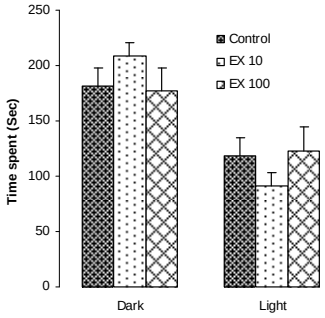
۵- اثر تابش مزمن ELFEF بر رفتارهای شبه اضطرابی موش سفید بزرگ آزمایشگاهی در جعبه روشن-تاریک.

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 دار بین گروه‌ها است ($F_{2, 32}$=6.66, P=0.003).



شکل ۱۳. اثرا ت میدان مغناطیسی بر رفتار های شبه اضطرابی. تعداد دفعاتی که موش بین دو محفظه تردد کرده است. تفاوت معنی داری بین گروه ها دیده شد.

زمان سپری شده در محفظه تاریک. شکل ۱۴ زمانی را که موش در محفظه تاریک یا روشن سپری کرده است، نشان می دهد. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه حاکی ازفقدان تفاوت معنی دار بین گروه ها 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 دورهای 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 دستگاه های مولد میدان خاموش بودند، شدت میدان ۱ میکروتسلا بود. شدت میدان روزانه به طور مرتب دو نوبت

Archive of SID

www.SID.ir

چک شد، مقدار آن ثبت می‌گشت، 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 قفس‌ها و تعویض پوشال‌های کف آن از محیط میدان خارج شدند. موش‌های گروه کنترل همزمان 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 ۳۵-۲۱ 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 الکترومعناطیسی 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 نمی‌توان پارامترهای مشخصی را بدین منظور تعیین کرد [۲۶]. Crasson نیز با بررسی اثر میدان مغناطیسی بر درک انسان بیان می‌نماید که اثرات میدان‌های مغناطیسی قوی بر عملکرد ادراک یکنواخت نیست و اختلاف مشاهده شده بین گروه مورد بررسی و گروه کنترل در آزمایش‌های 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 میدان‌های مغناطیسی کم فرکانس که در محیط کار وجود دارند نمی‌توانند بر مغز انسان اثر گذارند [۲۷]. همچنین Marino نیز در تحقیق خود مشخص کرد که میدان‌های مغناطیسی کم فرکانس حتی در شدت‌های کم مانند یک گوس نیز می‌تواند 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 بررسی‌های 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 می‌رسد که میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم در کوتاه مدت تأثیر برجسته ای بر فعالیت های شناختی و سایر فعالیت‌های انسانی نداشته باشد.

مطالعات حیوانی. در سال ۲۰۰۱،Sienkiowicz و همکارانش نشان دادند که تابش مختصر و حاد میدان‌های مغناطیسی کم فرکانس به مدت ۴۵ دقیقه بر قابلیت تمایز بین اشیای آشنا و جدید اثری ندارد [۳۰]. در یک مطالعه اخیر، ما مشاهد 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 موش‌های 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 بیش‌تر مشاهده می‌شود ولی در نهایت موش‌های تحت آزمایش مانند گروه کنترل مهارت کامل را بدست می‌آورند [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

Archive of SID
www.SID.ir

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 می شود [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 حالی‌که 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 پلاسما ایجاد می‌کند و نیز قابلیت تمایز بین اشیای آشنا و جدید را مختل می کند. 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 ELFEF را بر حافظه شناخت فضایی در موش سفید کوچک آزمایشگاهی در ماز شناختی Y بررسی کردند که برپایه 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 می دهد که نه تابش کوتاه مدت و نه بلند مدت بر فعالیت های 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 ELFEF حافظه شناخت فضایی را در ماز Y مختل می کند 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 میلی‌تسلا 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 ELFEF 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 ELFEF 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 زمان رسیدن به سکو را کاهش می‌دهد و حافظه بلند مدت از محل قبلی سکو را بهبود می بخشد 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

www.SID.ir
Archive of SID

حرکت موش از سکو در طی تست به خاطر آوری که دو شاخص بسیار حساس تغییرات حافظه است [۴۰] وجود ندارد. این نتایج نشان می‌دهند که تابش مزمن میدان معناطیسی اثری بر یادگیری و حافظه فضایی ندارد. همچنین، یافته‌های ما نشان داد که تابش مزمن میدان تاثیری بر حافظه کوتاه مدت و بلند مدت در مدل یادگیری و حافظه احترازی غیرفعال ندارد. حافظه کوتامدت مستقل از سنتز پروتین است ولی حافظه بلند مدت نیازمند افزایش بیان ژن‌ها و سنتز پروتین‌ها است.

هرچند که مطالعات گذشته اثرات مخرب تابش حاد میدان‌های الکترومغناطیسی را بر حافظه تایید کرده‌اند، 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 میدان‌های مزمن با شدت کم راتایید می‌کنند. در ۲ مطالعه اخیر با شدت‌های ۲۰۰۰ میکروتسلا [۱۰، ۳۹]. در مطالعه ما میدان فاقد هر گونه اثری بر یادگیری و حافظه فضایی و غیر فضایی بود. از این‌رو، اثرات تایش میدان روی فعالیت شناختی هنوز متناقض است و نیازمند مطالعات بیشتری است.

اثرات میدان بر رفتار های شبه اضطرابی. در این مطالعه تایش مزمن اثری بر رفتارهای شبه اظطرابی در دو مدل تست اضطراب نداشت. لذا می توان نتیجه گرفت که میدان ۱۰ میکرو تسلا حتی در شرایط مزمن بودن نیز نمی‌تواند اثرات اضطراب‌آور ایجاد کند. تا انجایی که اطلاع داریم، تا کنون فقط یک مطالعه روی خواص اضطراب زایی میدان انجام شده است و نتایج نشان دا ده 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 می‌شود [۱۴]. بنابراین ، احتمال دارد میدانهای قوی‌تر بتواند خواص اضطراب زدایی بیش تری داشته باشد.

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

تشکر و قدردانی

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

منابع

1- Pesic 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, Pesic 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 rata, but disrupt seized rats normalized with ketamin: Possible support for a neoromatrix concept? Epilepsy Behav 2006; 8:137-144.
7- Jelenkovic A, Janac B, Pesic 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. Ultrastructior plasticity associatied 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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 µT 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 perfprmance functions in human. Int Arch Occup Environ Health 2003; 76: 437-442.
28- Marrino AA, Nilsen E, Chesson JAL, Frilot C. effect of low-frequency magnetic fields on brain electrical activity in human subjects. Clin Neurophysiol 2004; 115: 1195-1201.
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 posttraning-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- Kafaee M, Tehranipour M, Haghpeima A. Effects of exposure to extremely low-frequency magnetic field of 2 µT 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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 scare. 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 uT). Exposed rats were continuously exposed to a 50 Hz magnetic field of 10 or 100 μT 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, Leraning, Memory, Anxiety-like behaviors, Rat

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

Archive of SID

www.SID.ir