مقاله پژوهشی

بررسی اثر تابش طولانی‌مدت امواج الکترومغناطیس با فرکانس فوق‌العاده پایین بر فعالیت سیستم β۲ آدرنرژیک در روده باریک موش صحرایی نر

سید اسماعیل خوشنام[۱،۲]، سیده مرضیه جعفری[۲]، امین الله بهاالدینی[۲]، مریم اوج‌فرد[۲]

۱- مرکز تحقیقات فیزیولوژی، دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز، ایران
۲- بخش زیست‌شناسی، دانشکده علوم دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۱۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۰۸

چکیده

زمینه و هدف: امواج الکترومغناطیس با فرکانس ۳۰۰-۰ هرتز و شدت ۱۰۰ - ۰/۱ میلی تسلا، می‌توانند روی بسیاری از فعالیت‌های سلولی تأثیرگذار باشند؛ بنابراین هدف از مطالعه حاضر بررسی اثر قرارگیری طولانی‌مدت در معرض امواج الکترومغناطیس با فرکانس فوق‌العاده پایین (ELF) بر سیستم بتا آدرنرژیک روده باریک است.

مواد و روش‌ها: تعداد ۲۱ سر موش صحرایی نر بالغ به سه گروه تقسیم شدند: گروه اول، گروه آزمایش به مدت ۷۵ روز در معرض امواج الکترومغناطیس (۵۰ هرتز، ۱ میلی‌تسلا) در دستگاه سلونوئید روشن قرار گرفتند. گروه دوم، گروه شاهد که در شرایط مشابه با گروه اول و در سلنوئید خاموش قرار گرفتند و گروه سوم، گروه کنترل که در شرایط معمول حیوان‌خانه نگهداری شدند. حلقه‌های جداشده ایلئوم در حمام بافتی متصل به ترانس‌دیوسر نیروی دستگاه پاورلب A - D قرارگرفته و پاسخ تغییرات مکانیکی بافت به تجویز دوزهای 10^{-4} و 10^{-5} مولار داروی ایزوپروترنول ثبت گردید. داده‌ها با استفاده از آزمون ANOVA یک‌طرفه مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفتند.

نتایج: نتایج نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار ($p\leq0.05$) انقباضات پایه گروه آزمایش در مقایسه با گروه کنترل و شاهد بود. درحالی‌که میزان شل شدگی ایلئوم در پاسخ به دوزهای مختلف ایزوپروترنول (آگونیست گیرنده‌های بتا آدرنرژیک) در گروه آزمایش نسبت به گروه شاهد و کنترل معنی‌دار نبوده است.

نتیجه‌گیری: می‌توان چنین نتیجه گرفت، تأثیر درازمدت امواج الکترومغناطیس با فرکانس فوق‌العاده پایین ممکن است اثری بر فعالیت گیرنده‌های β۲ آدرنرژیک در روده باریک نداشته باشد.

کلمات کلیدی: امواج الکترومغناطیس، سیستم β۲ آدرنرژیک، ایلئوم

مقدمه

با توجه به قرارگیری مداوم انسان‌ها در معرض میدان‌های مغناطیسی و تغییر شرایط زندگی امروزی، قرارگیری در معرض امواج الکترومغناطیس ناشی از وسایل الکتریکی اجتناب‌ناپذیر است (۱)؛ بنابراین در سال‌های اخیر اثر این امواج بر سیستم‌های مختلف موجود زنده موردتوجه قرارگرفته است. امواج الکترومغناطیس با فرکانس ضعیف که فرکانس آن‌ها بین ۰ تا ۳۰۰ هرتز و شدت آن‌ها در حدود ۰/۱ تا ۱۰۰ میلی تسلا است، غیر یونیزان می‌باشند و انرژی آن‌ها آن‌قدر زیاد نیست که قادر به شکستن پیوندهای شیمیایی باشند، اما این امواج می‌توانند روی فعالیت سلولی تأثیرگذار باشند (۲). امواج الکترومغناطیس با فرکانس ضعیف موجب جدا شدن یون‌های کلسیم متصل به غشا سلولی می‌شوند و ازآنجایی‌که این یون‌ها برای ثبات غشاء ضروری می‌باشند، حذف آن‌ها توسط امواج الکترومغناطیس موجب سست شدن و افزایش نفوذپذیری غشاء سلولی می‌شود (۳). با قرارگیری سلول‌های انسان و رت در معرض امواج الکترومغناطیس، قطعه‌قطعه شدن DNA سلول‌ها مشاهده‌شده است (۴). قرارگیری در معرض امواج الکترومغناطیس با فرکانس فوق‌العاده پایین (ELF) ریسک ابتلا به سرطان را افزایش می‌دهد (۵). امواج الکترومغناطیس بر برخی عملکردهای روده نظیر اثر بر سلول‌های ساغری که سلول‌های ضربان‌ساز در روده‌اند و همچنین کاهش در تعداد این سلول‌ها نقش دارند (۶) . همچنین، امواج الکترومغناطیس پالسی آسیب قابل‌توجهی در سلول‌های

* **نویسنده مسئول: امین الله بهاالدینی**، بخش زیست‌شناسی، دانشکده علوم دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
Email: bahaodini@shirazu.ac.ir

ساغری معده، دوازدهه و کولون ایجاد کرده که بیشترین آسیب در فوندوس معده و دوازدهه مشاهده‌شده است (۷). به‌طورکلی اثرات بیولوژیک میدان‌های الکترومغناطیس شامل تغییر در متابولیسم، آسیب ژنتیکی، پیشروی سرطان، اختلالات تکامل جنینی، نازایی، بروز اختلالات عصبی و بیماری‌های گوارشی می‌باشد (۸).

سیستم سمپاتیک در کنترل فعالیت‌های حرکتی و ترشحی دستگاه گوارش نقش اساسی دارد. تحریک اعصاب سمپاتیک باعث افزایش غلظت کلسیم و به دنبال آن باز شدن کانال‌های پتاسیمی وابسته به کلسیم و انبساط عضلات صاف روده می‌شود و در نتیجه منجر به کاهش فعالیت‌های حرکتی دستگاه گوارش می‌گردد (۹).

با بررسی متون در دسترس تاکنون مطالعه‌ای در مورد تأثیر امواج الکترومغناطیس با فرکانس بسیار پایین بر روی عملکردهای روده باریک منتشرنشده است و با توجه به استفاده روزافزون از دستگاه‌های الکترونیکی مولد امواج الکترومغناطیس، هدف از این مطالعه بررسی اثر قرارگیری طولانی‌مدت در معرض میدان الکترومغناطیس با فرکانس فوق‌العاده پایین (ELF) بر فعالیت سیستم β۲ آدرنرژیک در ایلئوم روده باریک است.

مواد و روش‌ها

حیوانات موردمطالعه: تعداد ۲۱ سر موش صحرایی نر بالغ از نژاد ویستار با میانگین وزنی ۲۵۰ تا ۳۰۰ گرم به‌طور تصادفی انتخاب شدند. رت‌ها در شرایط کنترل‌شده نور (سیکل ۱۲ ساعته تاریکی و روشنایی) و دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری شده و در طول مدت آزمایش، غذا و آب کافی در اختیار آن‌ها قرار گرفت. مسائل اخلاقی در مورد کار با حیوانات آزمایشگاهی نظیر بی‌هوشی و جراحی، تحت نظر کمیته اخلاق زیستی بخش زیست‌شناسی انجام گردید.

گروه‌های موردمطالعه: بعد از گذشت یک هفته و حصول اطمینان از سلامت حیوانات، رت‌ها به‌طور تصادفی به ۳ گروه ۷ تایی تقسیم شدند.

-گروه آزمایشی که به‌طور ۲۴ ساعته و به مدت ۷۵ روز در دستگاه سولنوئید روشن در معرض میدان الکترومغناطیس با شدت یک میلی تسلا و فرکانس ۵۰ هرتز قرار گرفتند.

- گروه شاهد که به مدت ۷۵ روز در دستگاه سولنوئید خاموش قرار گرفتند.

-گروه کنترل که در شرایط معمول آزمایشگاه نگهداری شدند.

اندازه‌گیری فعالیت مکانیکی بافت ایزوله: در طول مدت اعمال ELF دما در ۲۲ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه‌داشته شد. با توجه به این‌که میدان الکترومغناطیس با شدت ۰/۲ تا ۳/۵ میلی تسلا لازم است تا اثرات ELF را روی پارامترهای اتصال به گیرنده سنجیده شود (۱۰) و در مطالعات مشابه برای مشاهده اثرات سلولی ELF و به‌خصوص اثرات آن بر غشاء سلول و رسپتورها معمولاً از شدت ۱ میلی تسلا استفاده‌شده است (۱۱، ۱۲)، در مطالعه حاضر نیز از شدت یک میلی تسلا با فرکانس ۵۰ هرتز استفاده گردید. برای تولید امواج الکترومغناطیس از دستگاه سولنوئید با منبع تغذیه اتوترانس متغیر استفاده شد که ورودی آن برق شهر (۵۰ هرتز و ۲۲۰ ولت) بود و ولتاژ جریان ورودی، طوری تنظیم شد که شدت میدان ۱ میلی تسلا برقرار گردد. شدت‌جریان ورودی به دستگاه به‌وسیله دستگاه آمپرمتر و همچنین شدت میدان الکترومغناطیس توسط دستگاه تسلامتر اندازه‌گیری شد. رت‌های گروه‌بندی‌شده بعد از گذشت ۷۵ روز، با تزریق درون صفاقی پنتوباربیتال سدیم (50mg/k) بی‌هوش شدند (۱۳). شکم حیوان بازشده و به‌سرعت ۳ سانتی‌متر از ایلئوم بیرون آورده شده و به پتری‌دیش حاوی محلول کربس (۳۷ درجه سانتی‌گراد) منتقل و بدون آنکه آسیبی به اپیتلیوم و عضله آن وارد شود، بافت‌های اضافی و چربی‌های اطراف آن‌ها جداسازی شد. محلول کربس-هنسلیت با استفاده از ترکیبات زیر و برحسب واحد میلی‌مولار تهیه گردید:

۱۱۸ NaCl، ۲۵ $NaHCO_3$، ۱/۲ $MgSO_4$، ۱/۲ KH_2PO_4،
۴/۷ KCL، ۲/۵ $CaCl_2$، ۱۱ glucose

در ضمن pH محلول کربس قبل از استفاده توسط pH متر کنترل شد تا در حد ۷/۴ باشد (۱۴). دو حلقه عرضی ایلئوم به طول ۱ سانتی‌متر به‌طور هم‌زمان به دو حمام بافتی حاوی ۳۰ میلی‌لیتر محلول کربس منتقل‌شده و هر حلقه ایلئوم توسط دو قلاب در محلول کربس معلق نگه‌داشته شد، یک قلاب ایلئوم را در حمام بافتی ثابت نگه‌داشته و قلاب دیگر بافت را به ترانس دیوسر نیرو متصل کرد. تغییرات انقباضی عضله ایلئوم به ترانس‌دیوسر نیرو از نوع ایزوتونیک منتقل‌شده و ترانس‌دیوسر نیز به دستگاه بریج آمپلی‌فایر و سیستم پاور لب A-D (مدل ML825، ساخت استرالیا) متصل بوده و به‌این‌ترتیب تغییرات مکانیکی انقباض بافت به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل‌شده و توسط

مانیتور کامپیوتر قابل‌مشاهده و ارزیابی بود. در ابتدا حلقه‌های روده به مدت ۳۰ دقیقه تحت تانسیون ۰/۵ گرم به‌عنوان تانسیون پایه قرارگرفته و در طول این مدت هر ۱۵ دقیقه یک‌بار شستشو داده شد (۱۵، ۱۶). درحالی‌که بافت در محلول کربس غوطه‌ور بود، توسط دستگاه انتشاردهنده آب و ترموستات مربوطه، دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد برقرار بود و به‌طور دائم با ۹۵ درصد اکسیژن و ۵ درصد دی‌اکسید کربن هوادهی گردید (۱۶). دو آزمایش موازی و هم‌زمان با یکدیگر بر روی دو قطعه بافت ایلئوم یک حیوان و با طول مشابه و در دو حمام بافتی صورت گرفت. ابتدا هر دو حلقه تحت تأثیر استیل کولین ۱ میلی مولار (تهیه‌شده از شرکت سیگما- آلدریچ آلمان) به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند و پس از شستشوی بافت و رسیدن مجدد آن به حالت پایه، یکی از حلقه‌ها به‌طور تصادفی تحت تأثیر ایزوپروترنول (آگونیست گیرنده ۲β آدرنرژیک) (تهیه‌شده از شرکت سیگما- آلدریچ آلمان) با دوزهای مختلف 10^{-4} و 10^{-5} مولار و حلقه دیگر تحت تأثیر حجم مشابهی از نرمال سالین (۰/۹ NaCl) قرار گرفت و به مدت ۳۰ دقیقه به‌صورت هم‌زمان به هر دو بافت زمان داده شد.

آنالیز آماری: جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌های به‌دست‌آمده توسط آزمون کلموگروف اسمیرنوو تائید شد و سپس برای مقایسه بین گروه‌ها از تست ANOVA یک‌طرفه و با در نظر گرفتن سطح معنی‌داری $p\leq0.05$ مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفتند.

نتایج

بررسی تغییرات شل شدگی بافت ایلئوم ایزوله بر روی دو قطعه ایلئوم ایزوله با طول مشابه و در یک حیوان صورت گرفت و این دو قطعه ایلئوم تحت آزمایش‌های یکسان قرار گرفتند. تغییرات شل‌شدگی پایه بافت از زمان اعمال ایزوپروترنول تا مدت ۳۰ دقیقه ثبت شد و در هر گروه مورد آزمایش میزان تانسیون بافت در زمان کاربرد دارو با کسر تانسیون پایه ثبت شد. با توجه به جدول ۱ میزان شل شدگی ایلئوم در گروه در معرض امواج (آزمایش) نسبت به دو گروه کنترل و شاهد افزایش معنی‌داری ($p\leq0/05$) داشته است.

جدول ۱- میزان تانسیون پایه بافت ایلئوم (mean±SEM) در گروه‌های کنترل، شاهد و آزمایش

گروه / زمان	کنترل N=۷	شاهد N=۷	آزمایش N=۷
۱۵ دقیقه	۴۳/۹±۶۵/۸۳	۴۹/۱۲±۳۴/۶۲	*۷۹/۱۷±۴۸/۵۳

*$p\leq0/05$ تفاوت معنی‌دار گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل و شاهد

جدول ۲ و ۳ میزان شل شدگی ایلئوم به ترتیب در پاسخ به دوزهای 10^{-4} و 10^{-5} مولار ایزوپروترنول را طی زمان‌های مختلف و بعد از کسر تانسیون پایه نشان می‌دهد که بیان‌کننده عدم‌تغییر معنی‌دار درصد شل شدگی ایلئوم در گروه‌های آزمایش نسبت به گروه‌های شاهد و کنترل است.

جدول ۲- میزان پاسخ‌دهی ایلئوم (mean±SEM) در پاسخ به دوز 10^{-5} مولار داروی فنیل افرین بعد از کسر تانسیون پایه بین گروه‌های آزمایش، کنترل و شاهد

		درصد شل شدگی بافت ایلئوم		
	زمان	کنترل (N=۷)	شاهد (N=۷)	آزمایش (N=۷)
داروی فنیل افرین	دقیقه ۳	۲۱/۳±۶۷/۰۷	۲۳/۳±۶۵/۵۵	۲۷/۵±۷
	دقیقه ۵	۲۵/۲±۰۹/۵۶	۲۴/۴±۳۶/۹	۳۲/۵±۵۶/۹۷
	دقیقه ۷	۲۶/۳±۰۷/۱۵	۲۹/۵±۸۳/۴۵	۴۱/۵±۲۳/۴۶

بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی متون در دسترس تاکنون مطالعه‌ای در مورد تأثیر امواج الکترومغناطیس با فرکانس بسیار پایین بر روی عملکردهای روده باریک منتشرنشده است و با توجه به استفاده روزافزون از دستگاه‌های الکترونیکی مولد امواج الکترومغناطیس، هدف از این مطالعه بررسی اثر قرارگیری طولانی‌مدت در معرض

جدول ۳- میزان پاسخ‌دهی ایلئوم (mean±SEM) در پاسخ به دوز 10^{-4} مولار داروی فنیل افرین بعد از کسر تانسیون پایه بین گروه‌های آزمایش، کنترل و شاهد

		درصد شل شدگی بافت ایلئوم		
	زمان	کنترل (N=۷)	شاهد (N=۷)	آزمایش (N=۷)
داروی فنیل افرین	دقیقه ۳	۲۶/۴±۷۹/۰۷	۲۹/۴±۰۲/۵۵	۳۷/۵±۷۸/۳۲
	دقیقه ۵	۳۴/۳±۴۱/۵۶	۳۱/۴±۳۹/۹۲	۴۵/۵±۳۹/۹۷
	دقیقه ۷	۴۲/۳±۸۸/۱۵	۳۹/۵±۸۸/۴۵	۵۵/۶±۴۸/۰۵

میدان الکترومغناطیس با فرکانس فوق‌العاده پایین (ELF) بر فعالیت سیستم ۲β آدرنرژیک در ایلئوم روده باریک است.

با توجه به محدودیت نگهداری طولانی‌مدت حیوانات آزمایشگاهی نظیر موش صحرایی و نیز محدودیت فضایی جهت قرارگیری حیوانات گروه آزمایش و شاهد در دستگاه سولونوئید، در این مطالعه طول دوره تابش امواج به حیوانات ۷۵ روزه در نظر گرفته‌شده است.

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد، در ایلئوم موش‌های صحرایی که در معرض طولانی‌مدت امواج الکترومغناطیس (شدت ۱ میلی تسلا و فرکانس ۵۰ هرتز) قرارگرفته بودند، میزان شل شدگی بافت در پاسخ به دوزهای مختلف ایزوپروترنول (آگونیست گیرنده‌های ۲β آدرنرژیک) کاهش پیداکرده ولی این کاهش شل شدگی به لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است؛ بنابراین امواج الکترومغناطیسی بر حساسیت گیرنده‌های ۲β آدرنرژیک ایلئوم اثری نداشته است. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج برخی محققین همخوانی دارد ازجمله مطالعات مارتین و همکاران نشان داد که حساسیت رسپتورهای آدرنرژیک تحت تأثیر امواج الکترومغناطیس تغییری نمی‌کند (۱۷). همچنین ایکهار و همکاران نشان دادند که امواج الکترومغناطیس از آزادسازی کلسیم از ذخایر داخل سلولی جلوگیری می‌کند و بر تولید اینوزیتول‌تری‌فسفات تأثیری ندارد، در نتیجه بر روی عناصر دخیل در مسیر سلولی آلفا-آدرنوسپتورها مؤثر نیست (۱۸).

نتایج برخی محققین نیز برخلاف نتایج ما بوده است ازجمله، تحقیقات Jeong و همکاران، بیان‌کننده اثر امواج الکترومغناطیس بر گیرنده‌های بتا آدرنرژیک است. این محقق نشان داد که میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس ۶۰ هرتز به مدت یک روز نه تنها روی رسپتورهای بتا تأثیر می‌گذارند، همچنین فعالیت گیرنده‌های α۱ در رگ‌های خونی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و با کاهش حساسیت آلفا آدرنورسپتورها در عروق خونی، اثر آدرنالین بر عروق را کاهش می‌دهند (۱۹). علت تفاوت نتایج این محقق با نتایج حاصل از تحقیق حاضر، ممکن است ناشی از تفاوت در طول دوره در معرض امواج الکترومغناطیس بودن و شدت‌های متفاوت امواج در این دو مطالعه بوده و با توجه به اینکه نوع پاسخ به این میدان‌ها بستگی به فرکانس، شدت میدان و مدت در معرض قرارگیری و ویژگی‌های مختص گونه و میزان حساسیت آن به امواج الکترومغناطیس دارد، این تناقضات قابل توجیه است (۲۰).

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد، در ایلئوم موش‌های صحرایی که در معرض طولانی‌مدت امواج الکترومغناطیس (شدت ۱ میلی تسلا و فرکانس ۵۰ هرتز) قرارگرفته بودند، میزان شل شدگی بافت در حالت پایه افزایش معنی‌داری داشته است. با توجه به اینکه امواج الکترومغناطیسی بر حساسیت گیرنده‌های ۲β آدرنرژیک ایلئوم اثری نداشته است، پس این افزایش درصد شل شدگی بافت ایلئوم ناشی از کاهش حساسیت گیرنده‌های بتا آدرنرژیک نبوده است (۲۱). ممکن است این افزایش درصد شل شدگی بافت ایلئوم در حالت پایه ناشی از اثر امواج الکترومغناطیس بر حساسیت گیرنده‌های استیل کولینی و توزیع یون کلسیم در سلول‌های ایلئوم بوده باشد. برای آشکار شدن این موضوع به تحقیقات برخی محققین اشاره می‌شود، ازجمله تحقیقات آدمپور و همکاران که نشان دادند، موش‌های صحرایی که به مدت ۱۴۰ روز در معرض امواج الکترومغناطیس بودند، افزایش حساسیت گیرنده‌های موسکارینی یا افزایش غلظت کلسیم داخل سلولی در روده بزرگ رخ می‌دهد (۲۲). کرانتیس و همکاران نیز نشان دادند که میدان‌های الکترومغناطیس از طریق افزایش میزان حساسیت گیرنده‌های موسکارینی موجب اختلال‌هایی در فعالیت حرکتی کولون می‌شود (۲۳). همچنین

کاوالیرز و همکاران نشان دادند که قرارگیری در معرض میدان مغناطیسی عملکرد کانال‌های کلسیمی و توزیع کلسیم را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۴). به‌طورکلی با توجه به یافته‌های این مطالعه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که قرارگیری در معرض امواج الکترومغناطیس با فرکانس فوق‌العاده پایین اثری بر گیرنده‌های ۲β آدرنرژیک در ایلئوم موش صحرایی ندارد که پیشنهاد می‌شود برای مشخص شدن مکانیسم‌های دقیق اثر امواج الکترومغناطیس بر سیستم آدرنرژیک ایلئوم موش صحرایی، در مطالعات آینده اثر امواج الکترومغناطیس با شدت، فرکانس و دوره‌های مختلف بر سطوح بیان ژن و پروتئین گیرنده‌های بتا آدرنرژیک در بافت ایلئوم مورد ارزیابی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمومی مصوب بخش زیست‌شناسی دانشکده علوم بوده است که با حمایت مالی دانشگاه شیراز انجام شد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافعی را اعلام نکرده اند.

References

1. Neumann E. Digression on chemical electromagnetic field effects in membrane signal transduction cooperativity paradigm of the acetylcholine receptor. Bioelectrochemistry. 2000; 52(1): 43-9.
2. Aldinucci C, Carretta A, Maiorca S, Leoncini S, Signorini C ,Ciccoli L, et al. Effects of 50 Hz electromagnetic fields on rat cortical synaptosomes. Toxicology and industrial health. 2009; 25(4-5): 249-52.
3. Sarookhani M, Rezaei MA, Safari A, Zaroushani V, Ziaeiha M. The influence of 950 MHz magnetic field (mobile phone radiation) on sex organ and adrenal functions of male rabbits. African Journal of Biochemistry Research. 2011; 5(2): 65-8.
4. Diem E, Schwarz C, Adlkofer F, Jahn O, Rüdiger H. Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 2005; 583(2): 178-83.
5. Minder C, Pfluger D. Leukemia, brain tumors, and exposure to extremely low frequency electromagnetic fields in Swiss railway employees. American journal of epidemiology. 2001; 153(9): 825-35.
6. Dindar H, Renda N, Barlas M, Akinay A, Yazgan E, Tincer T, et al. The effect of electromagnetic field stimulation on corticosteroids-inhibited intestinal wound healing. The Tokai journal of experimental and clinical medicine. 1993; 18(1-2): 49-55.
7. Kaszuba-Zwoinska J, Gil K, Ziomber A, Zaraska W, Pawlicki R, Krolczyk G, et al. LOSS OF INTERSTITIAL CELLS OF CAJAL AFTER PULSATING. Journal of physiology and pharmacology. 2005;56(3):421-32.
8. Christ A, Samaras T, Klingenböck A, Kuster N. Characterization of the electromagnetic near-field absorption in layered biological tissue in the frequency range from 30 MHz to 6000 MHz. Physics in Medicine and Biology. 2006; 51(19): 49-51.
9. Rusko J, Bauer V. Calcium and the activation of the α1-adrenoceptors in the guinea-pig taenia caeci. British journal of pharmacolog. 1988; 94(2): 557-565.
10. Antonini RA, Benfante R, Gotti C, Moretti M, Kuster N, Schuderer J, et al. Extremely low-frequency electromagnetic field (ELF-EMF) does not affect the expression of α3, α5 and α7 nicotinic receptor subunit genes in SH-SY5Y neuroblastoma cell line. Toxicology letters. 2006; 164(3): 268-77.
11. Masuda H, De Gannes FP, Haro E, Billaudel B, Ruffié G, Lagroye I, et al. Lack of effect of 50-Hz magnetic field exposure on the binding affinity of serotonin for the 5-HT 1B receptor subtype. Brain research. 2011; 1368(12): 44-51.
12. Matsunaga S, Shibata O, Nishioka K, Tsuda A, Makita T, Sumikawa K. Effects of amitriptyline, a tricyclic antidepressant, on smooth muscle reactivity in isolated rat trachea. Journal of anesthesia. 2009; 23(3): 385-91.
13. Kao C-H, Chu Y-H, Wang H-W. Effects of lidocaine on rat's isolated tracheal smooth muscle. European Archives of Oto-Rhino-Laryngology. 2010; 267(5): 817-20.
14. Romański K. Does the cholinergic system modulate gastrointestinal slow waves during less active phases of migrating myoelectric complex in healthy rams? Folia medica Cracoviensia. 2002; 44(1-2): 79-91.

15. Adampour-Zareh M, Bahaodini A. The Effect of Prolonged Exposure to Low Frequency Electromagnetic Fields on α1 Adrenergic System of Isolated Colon in Rats. SSU_Journals. 2013; 20(6): 724-31 .[In Persian]
16. Bahaoddini A, Ketabi MA, Gholampour F ,Mirkhanni H. Effect of prolonged exposure to low-frequency electromagnetic fields on the interaction of nitrergic and cholinergic systems in the isolated rat trachea. Physiology and Pharmacology. Physiology and Pharmacology. 2011; 15(3): 385-394 .[In Persian]
17. Martin L, Persinger M. Thermal analgesia induced by 30-min exposure to 1 μT burst-firing magnetic fields is strongly enhanced in a dose-dependent manner by the α 2 agonist clonidine in rats. Neuroscience Letters. 2004; 366(2): 226-9.
18. Ikehara T, Yamaguchi H, Hosokawa K, Miyamoto H, Aizawa K. Effects of ELF magnetic field on membrane protein structure of living HeLa cells studied by Fourier transform infrared spectroscopy. Bioelectromagnetics. 2003; 24(7): 457-64.
19. Jeong J, Kim J, Lee B, Min Y, Kim D, Ryu J, et al. Influence of exposure to electromagnetic field on the cardiovascular system. Autonomic and Autacoid Pharmacology. 2005; 25(1): 17-23.
20. Simkó M, Mattsson MO. Extremely low frequency electromagnetic fields as effectors of cellular responses in vitro: possible immune cell activation. Journal of Cellular Biochemistry. 2004; 93(1): 83-92.
21. Sagrada A, Fargeas M, Bueno L. Involvement of alpha-1 and alpha-2 adrenoceptors in the postlaparotomy intestinal motor disturbances in the rat. Gut. 1987; 28(8): 955-959.
22. Adampourezare M, Bahaodini A. Effects of long term exposure to low frequency electromagnetic fields on the cholinergic system in rat colon. JQUMS. 2014; 18(2): 24-29. [In Persian]
23. Krantis A, Rana K, Harding R. The effects of γ-radiation on intestinal motor activity and faecal pellet expulsion in the guinea pig. Digestive diseases and sciences. 1996; 41(12): 2307-2316.
24. Kavaliers M, Ossenkopp K-P. Calcium channel involvement in magnetic field inhibition of morphine-induced analgesia. Naunyn-Schmiedeberg's archives of pharmacology. 1987; 336(3): 308-315.

Original Article

The Effect of Prolonged Exposure to Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields on the β_2 Adrenergic System Activity in the Small Intestine of Male Rats

Khoshnam SE[1,2], Jafari SM[2], Bahaoddini A[2], Owjfard M[2]

1 -Physiology Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran
2- Department of Biology, Shiraz university, Shiraz, Iran

Received: 03 Oct 2015 Accepted: 20 Feb 2016

Abstract

Background & Objective: Electromagnetic waves with the frequencies of 0–300 Hz and the intensity of 0.1–100 millitesla can affect several cellular activities. Therefore, the purpose of this study is to investigate the effect of prolonged exposure to extremely low frequency electromagnetic fields (ELF) on the adrenergic system in the small intestine.

Materials & Methods: 21 adult male rats were divided into three groups. The first group was experimental group which exposed to ELF (50Hz, 1mT) for 75 days in powered on solenoid. The second group was sham group which was kept in similar conditions as the first group but in powered off solenoid. The third group or the control group was kept in animal house condition. The isolated strips of the colon were inserted into organ bath and were linked to power lab A to D system force transducer and their mechanical activity were recorded in response to different doses of Isoproterenol (10^{-4} M and10^{-5} M). The data were analyzed using one-way ANOVA test.

Result: The results showed a significant increase ($p \leq 0.05$) of ileum basal contractions in experimental group compared to control and sham groups. While the relaxation changes of ileum in response to the different doses of isoproterenol (β_2 adrenergic receptors agonist) in the experimental group compared to the sham and control groups was not statistically significant.

Conclusion: It can be concluded that prolonged exposure to extremely low frequency electromagnetic fields may not affect β_2 -adrenergic receptors activity.

Keywords: Electromagnetic field, β_2 -adrenergic, Ileum

***Corresponding author: Amin Allah Bahaoddini,** Department of Biology, Shiraz University, Shiraz, Iran
Email: bahaodini@shirazu.ac.ir