اثرات ژنوتوکسیک امواج تلفن‌های همراه در القای آسیب‌های کروموزومی جنین موش کوچک آزمایشگاهی نژاد Balb/C

جواد بهارآرا[1]*؛ فرهنگ حداد[2]؛ محمدعلی شریعت‌زاده[3]؛ مریم امیراحمدی[1]

چکیده

زمینه: استفاده ازدستگاه‌های مولد مایکروویو، به‌خصوص تلفن‌های همراه، توجه بسیاری از پژوهشگران را به اثرات احتمالی این امواج بر سلامت انسان جلب کرده است. در مطالعه حاضر اثر امواج ساطع شده از تلفن‌های همراه در ایجاد آسیب‌های ژنتیکی در جنین‌های موش کوچک آزمایشگاهی و موش‌های ماده باردار بررسی شده است.

روش‌ها: دراین پژوهش تجربی آزمایشگاهی، از موش نژاد Balb/C استفاده گردید. موش‌های حامله از روز 14 بارداری به‌مدت 4 روز هر روز 6 ساعت (از ساعت 15-9) تحت تأثیر امواج ساطع شده از تلفن‌های همراه قرارگرفتند. جنین‌های 18/5 روزه، از نظر ریخت‌شناسی، وزن و طول فرق سری - نشیمنگاهی بررسی شدند. برای بررسی آسیب‌های ژنتیکی احتمالی از قلب آن‌ها خون‌گیری و اسمیر تهیه شد. بافت طحال برای مطالعات بافت‌شناسی آماده شد. از خون محیطی و مغز استخوان موش‌های ماده باردار، اسمیر تهیه و به روش مای-گرانوالد و گیمسا رنگ‌آمیزی شد. داده‌های کمی حاصل توسط آزمون‌های آماری t و ANOVA تجزیه و تحلیل گردید.

یافته‌ها: وزن جنین‌های تجربی کاهش نشان داد (P=0/04) ولی طول فرق سری- نشیمنگاهی آن‌ها تغییری نداشت. در طحال، افزایش مگاکاریوسیت‌ها (P=0/002) و گلبول‌های قرمز (P<0/05) مشاهده شد در حالی‌که تعداد لنفوسیت‌ها تفاوتی نشان نداد. تعداد میکرونوکلئوس‌ها نیز در اریتروسیت‌های خون محیطی جنین‌های تجربی و موش‌های ماده باردار تغییری نشان نداد. درحالی‌که تعداد میکرونوکلئوس‌ها در اریتروسیت‌های پلی‌کروماتیک مغز استخوان موش‌های ماده حامله افزایش نشان داد (P< 0/001).

نتیجه‌گیری: امواج ساطع‌شده از تلفن همراه دارای اثرات ژنوتوکسیک بوده و باعث افزایش تعداد میکرونوکلئوس‌ها در اریتروسیت‌های پلی‌کروماتیک مغز استخوان موش‌های ماده باردار می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تلفن همراه، میکرونوکلئوس، خون محیطی، مغز استخوان، موش کوچک

«دریافت: 1388/9/22 پذیرش: 1389/3/18»

1. گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد

2. گروه زیست‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

3. گروه زیست‌شناسی، دانشگاه اراک

***عهده‌دار مکاتبات:** مشهد، قاسم‌آباد، امامیه 42، سازمان مرکزی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، حوزه معاونت پژوهشی، تلفن: 0511-6223137، فاکس: 0511-6228310

Email:baharara@yahoo.com

مقدمه

در دنیای مدرن امروزی انبوهی از دستگاه‌های مولد میدان‌های الکترومغناطیس مانند وسایل برقی خانگی، تأسیسات برقی، رادیو، تلویزیون و تلفن‌های همراه در زندگی انسان‌ها وجود دارد (1).در حال حاضر استفاده از تلفن‌های همراه به‌طور چشمگیری افزایش یافته و با قیمت‌های پایین در اختیار تمام اقشار جامعه قرار گرفته است. باتوجه به این‌که تأثیرات کوچک روی سلامت

افراد می‌تواند نتایج وسیع در جامعه برجای گذارد (2) توجه بسیاری از پژوهشگران به اثرات زیستی امواج الکترومغناطیس جلب شده است. مولکول DNA در سلول از اهمیت زیادی برخودار بوده و در عملکرد سلول، تکثیر، زایایی، موتاسیون و سرطان، نقش عمده‌ای بر عهده دارد، بنابراین تأثیر امواج الکترومغناطیس روی ساختار آن مورد توجه فراوان دانشمندان قرار گرفته است. آسیب رسیدن به مولکول DNA در سلول‌های سوماتیک می‌تواند منجر به رشد سرطان یا مرگ سلول شود. این آسیب در سلول‌های زاینده، منجر به جهش و انتقال آن به نسل‌های بعدی می‌گردد (1 و 3). ایجاد میکرونوکلئوس یکی از نشانه‌های آسیب کروموزومی است که ارزیابی آن کم‌هزینه بوده و با امکانات محدود می‌توان آن را انجام داد (3) .عده‌ای از محققین، اثرات امواج الکترومغناطیس را روی گاوهایی که در مزارع کنار ایستگاه‌های رادار زندگی می‌کردند بررسی کردند و افزایش تعداد میکرونوکلئوس در اریتروسیت‌های خون محیطی را در آن‌ها گزارش نمودند (4). از طرفی میزان شیوع تومور مغزی در موش‌های صحرایی که به‌مدت 24 ماه در معرض سیگنال‌های تلفن‌های همراه قرار گرفته بودند، تغییری نشان نداده است (5). پیروزولی (Pirozzoli) اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی 50 هرتزی را روی آپوپتوزیس و تکثیر دودمان سلولی نوروبلاستوما مورد بررسی قرار داد. مطالعات وی هیچ‌گونه تغییری در میزان مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلولی نشان نداد (6). تعدادی از مطالعات نیز به‌منظور ارزیابی اثرات بعد از تولد در نوزادان موش‌های صحرایی که در طول دوران جنینی در معرض این امواج بودند انجام شده است. گرچه تغییرات کمی در تجمع پروتئین RNA و DNA مغز بعد از تیمار، ایجاد شده بود ولی نتایج به‌طورکلی نقصی را در رشد و نمو یا رفتار بعد از تولد نشان نداد (7). اماری (Ammari) و همکارانش نیز در سال 2008 گزارش کردند که در معرض قرارگیری مزمن با مایکروویو 900 مگاهرتزی، باعث فعال شدن دایمی استروگلیا در مغز موش صحرایی می‌گردد (8). همچنین گروه دیگری از محققین گزارش نموده‌اند که امواج ساطع‌شده از تلفن همراه نمی‌تواند آپوپتوز را در طی فرآیند اسپرماتوژنز موش‌های صحرایی القا نماید (9) و این امواج تأثیری در سطح پروتئین آنتی‌آپوپتوز bcl-2 ندارند (10). مطالعات اروگل (Erogul) نشان داد امواج الکترومگنتیک ساطع‌شده از تلفن همراه، تحرک اسپرم را در انسان تحت تأثیر قرار می‌دهد و در طولانی‌مدت باعث تغییرات ساختاری و رفتاری در سلول‌های زاینده نر می‌گردد (11). همچنین مایکروویو (940 مگاهرتز) فراساختار اووسیت‌ها را تغییر می‌دهد و از میزان باروری موش ماده نژاد Balb/C می‌کاهد (12). ماشریچ (Masherich) نیز گزارش کرد که امواج پیوسته الکترومغناطیس باعث ناپایداری کروموزومی در لنفوسیت‌های خون محیطی انسان می‌شود (13). امروزه کاربرد وسیع تلفن‌های همراه در جامعه و تعداد روبه‌افزایش ایستگاه‌های آن‌ها نگرانی‌هایی را در مورد اثرات مایکروویو روی سلامت انسان، به‌خصوص خانم‌های حامله و جنین‌های آن‌ها ایجاد کرده است. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرامواج تلفن‌های همراه (940 مگاهرتز) در ایجاد آسیب‌های ژنتیکی در جنین‌های موش کوچک آزمایشگاهی و موش‌های ماده باردار انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه تجربی آزمایشگاهی به‌مدت 12 ماه در سال 1387 در آزمایشگاه تحقیقاتی تکوین جانوری گروه زیست‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد انجام شد. برای این کار از موش‌های نژاد Balb/C به‌عنوان مدل آزمایشگاهی استفاده شد. این جانوران از مؤسسه سرم‌سازی رازی مشهد خریداری و در اتاق حیوانات تکثیر و در درجه حرارت 21±2?C و دوره نوری طبیعی (12 ساعت نور و 12 ساعت تاریکی) نگه‌داری شدند. برای انجام آزمایشات، قفس ویژه‌ای از جنس پلاستیک مات به‌طول 38، عرض 22 و ارتفاع 16 سانتی‌متر تهیه

شد. در ارتفاع 8 سانتی‌متری از کف این قفس، یک لایه توری سیمی تعبیه گردید. موش‌های مورد آزمایش روی توری قرار داده شدند. در کف قفس، دو عدد گوشی تلفن همراه (Sony Ericsson, China) به‌نحوی‌که مانیتورهای آن‌ها به سمت بالا باشد گذاشته شد.

موش‌های ماده باکره بالغ نژاد Balb/C با نر همان نژاد به‌صورت مونوگامی آمیزش داده شدند و روز مشاهده درپوش واژنی به‌عنوان روز صفر حاملگی در نظر گرفته شد. سپس موش‌های حامله به‌صورت تصادفی به 3 گروه کنترل، شاهد آزمایشگاهی و تجربی تقسیم شدند.

در گروه کنترل، موش‌های حامله (5 سر) در شرایط طبیعی در اتاق حیوانات نگه‌داری شدند.

در گروه شاهد آزمایشگاهی (sham-exposed)، موش‌های حامله (5 سر) از روز 18-14 بارداری به‌مدت 4 روز، از ساعت 15-9 در سیستم مذکور در حالت فاقد امواج قرارداده شدند.

درگروه تجربی نیز 5 سر موش حامله از روز 18-14 بارداری درون قفس ویژه و تحت تأثیر امواج تلفن‌های همراه به‌مدت 6 ساعت (از ساعت 15-9) به‌طور متناوب (1 ساعت روشن و نیم‌ساعت خاموش) قرار داده شدند. 60 جنین 18/5 روزه گروه‌های مذکور برای بررسی‌های بعدی مطابق ذیل مورد استفاده قرار گرفتند.

ابتدا موش‌های حامله را در روز 18/5 بارداری به‌وسیله کلروفرم، بیهوش و سپس سزارین کرده و جنین‌های آن‌ها را از رحم مادر خارج و با لوله موئینه هپارینه از قلب آن‌ها خون‌گیری و گسترش تهیه و با روش مای‌گرانوالد و گیمسا رنگ‌آمیزی شد. سپس طحال جنین‌ها جدا و به‌وسیله بوئن تثبیت گردید. پس از طی مراحل آبگیری، قالب‌گیری انجام و با میکروتوم (Microm ,Germany) برش‌های سریال 5 میکرونی تهیه شد سپس به‌روش هماتوکسیلین- ایتروزین، رنگ‌آمیزی و لام‌های دایمی تهیه گردید.

همچنین مغز استخوان موش‌های ماده باردار نیز توسط محلول FBS (fetal bovin serum) استخراج و در لوله سانتریفوژ قرارداده شد. لوله حاوی سوسپانسیون به‌مدت 10 دقیقه با سرعت 1000rpm سانتریفوژ (Kokusan,Japan) شد. سپس مایع رویی دور ریخته شده و محلول باقیمانده با پی‌پت روی چند لام تمیز گسترش داده شد. در ادامه لام‌ها در متانول تثبیت شده و به‌روش مای‌گرانوالد و گیمسا رنگ‌آمیزی و آماده تهیه گردید. در لام‌های مقاطع طحال، ابتدا ساختار کلی بررسی و سپس در مقاطع میانی، تعداد مگاکاریوسیت‌ها، لنفوسیت‌ها و گلبول‌های قرمز شمارش شد. برای جلوگیری از هرگونه اشتباه، سلول‌ها در نواحی 3، 6، 9، 12 و مرکز لام‌ها شمارش شدند.

لام‌های خون و مغز استخوان با میکروسکوپ نوری (Nikon,Japan) بررسی شد و در هر لام خونی 1000 اریتروسیت شمارش و تعداد میکرونوکلئوس‌ها در این سلول‌ها تعیین شد. در هر لام مغز استخوان نیز تعداد میکرونوکلئوس در 1000 اریتروسیت پلی‌کروماتیک شمارش گردید. داده‌های کمی حاصل توسط نرم افزار SPSS و آزمون‌های t-test و ANOVA در سطح $P<0/05$ تحلیل گردید. با رعایت مجوز کمیته اخلاق در پژوهش، محققین در تمامی مراحل اجرای کار به اصول اخلاقی کار با حیوانات متعهد بودند.

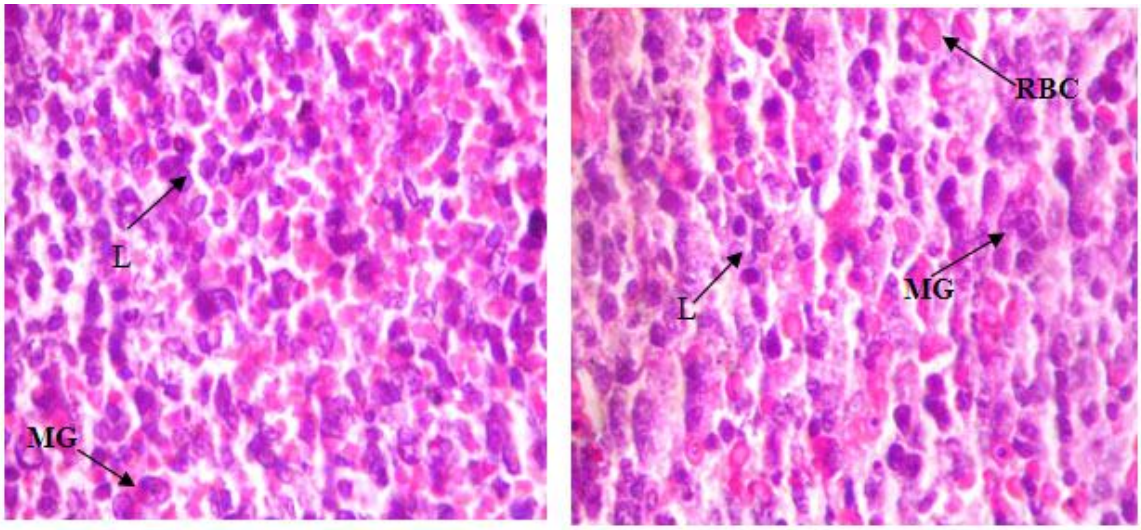
یافته‌ها

بررسی‌های ریخت‌شناسی، هیچ‌گونه ناهنجاری در جنین‌های تجربی نسبت به شاهد آزمایشگاهی و کنترل نشان نداد. همچنین مقایسه آماری نتایج حاصل از نمونه‌های کنترل و شاهد آزمایشگاهی، تفاوت معنادار نشان نداد. همچنین مقایسه طول فرق سری- نشیمنگاهی در جنین‌های گروه تجربی (21/88±0/33mm)، گروه شاهد آزمایشگاهی (22/4±0/33mm) و کنترل (22/4±0/35mm) اختلاف معنادار نشان نداد. اما میانگین وزن جنین‌های گروه تجربی (1/27±0/02gr) نسبت به وزن گروه شاهد آزمایشگاهی (1/34±0/02gr) و کنترل (1/41±0/03gr) کاهش معنادار نشان داد

(P=0/04).

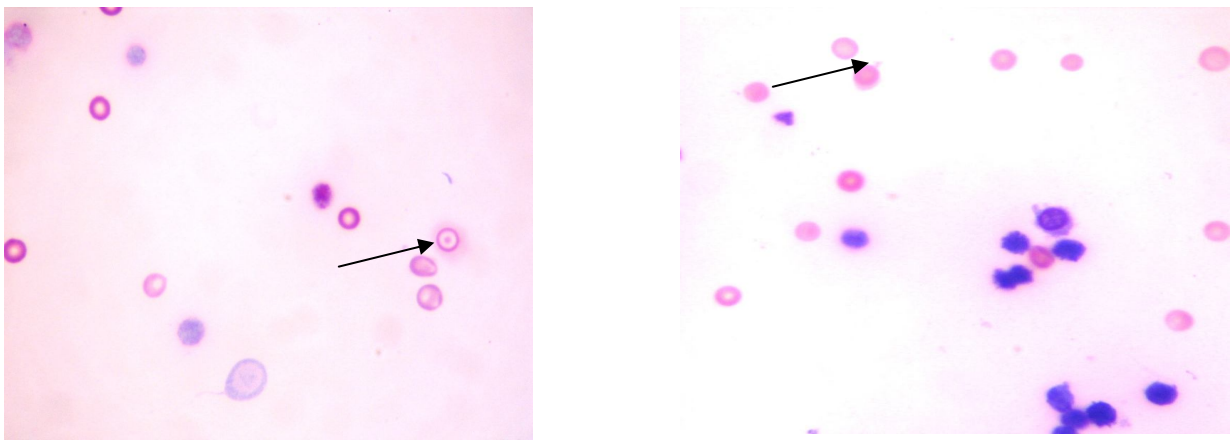
بررسی میانگین تعداد لنفوسیت‌ها **(66/06±2/89)** در گروه تجربی نسبت به شاهد آزمایشگاهی **(66/62±3/22)** و کنترل**(59/50±3/6)** تغییر معنادار نشان نداد. ولی تعداد مگاکاریوسیت‌ها **(24/24±1/4)** و گلبول‌های قرمز **(94/06±2/8)** در گروه تجربی نسبت به تعداد مگاکاریوسیت‌ها **(17/64±1/09)** و گلبول‌های قرمز **(83/3±4/5)** در گروه شاهد آزمایشگاهی و تعداد مگاکاریوسیت‌ها **(14/60±0/49)** و گلبول‌های قرمز گروه کنترل **(85/4±3/1)** افزایش معنادار نشان داد **(P<0/05)** **(تصویر 1).**

بررسی فراوانی میکرونوکلئوس در اریتروسیت‌های خون محیطی جنین‌های گروه تجربی **(0/86±0/16)** نسبت به شاهد آزمایشگاهی **(0/71±0/16)** و کنترل **(0/48±0/11)** تفاوت معنادار نشان نداد **(نمودار 1 و تصویر 2).**



تصویر 1 - مقطع سهمی- میانی از طحال جنین‌های **18/5** روزه در گروه تجربی **(سمت راست)** و شاهد آزمایشگاهی **(سمت چپ)**

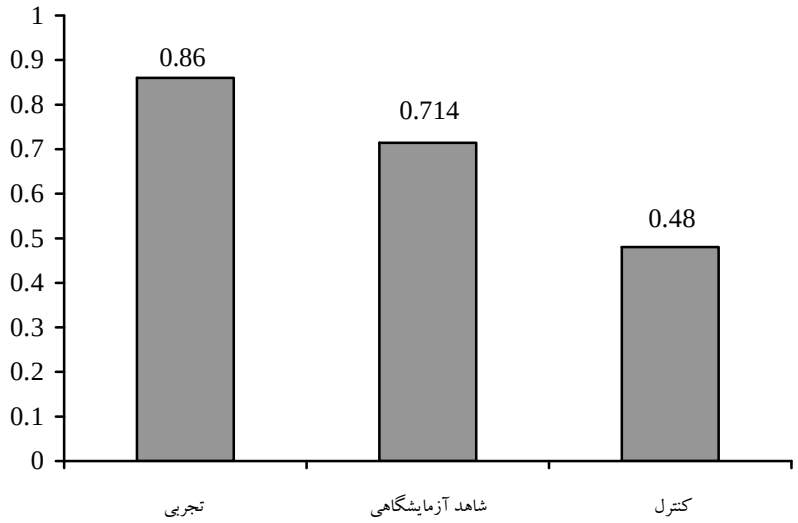
MG: مگاکاریوسیت L: لنفوسیت RBC: گلبول قرمز درشت نمایی× **1000** رنگ‌آمیزی هماتوکسیلین-اریتروزین



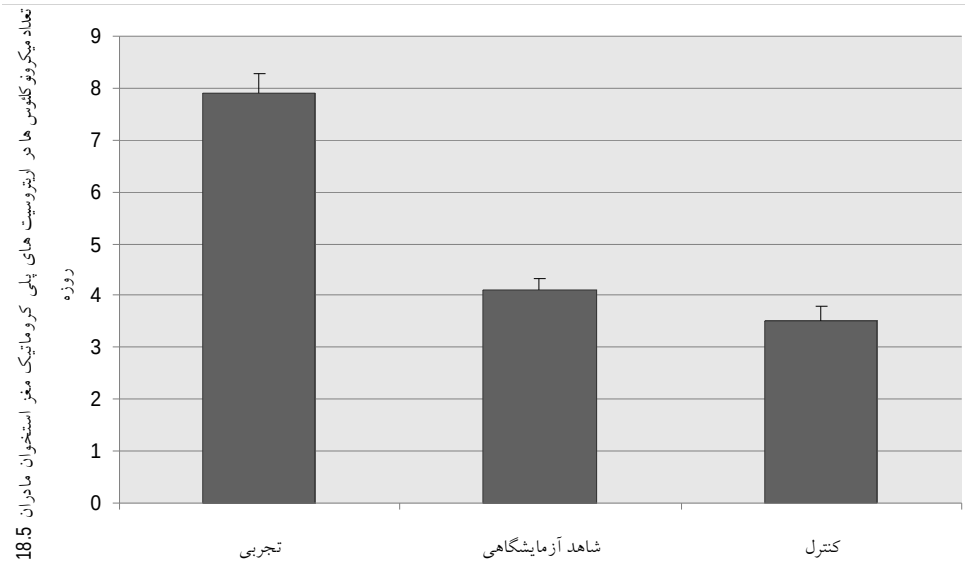
تصویر 2 - نمایش اریتروسیت‌های پلی‌کروماتیک مغزاستخوان مادران حامله **18/5**روزه گروه تجربی**(سمت‌چپ)** و شاهد آزمایشگاهی**(سمت‌راست)**

درشت‌نمایی **1000×** رنگ‌آمیزی مای گرانوالد– گیمسا

همچنین تعداد میکرونوکلئوس در اریتروسیت‌های خون محیطی مادران گروه تجربی (1±0/18) نیز نسبت به گروه شاهد آزمایشگاهی (0/86±0/21) و کنترل (0/57±0/18) تغییر معنادار نشان نداد. ولی فراوانی میکرونوکلئوس‌ها در اریتروسیت‌های پلی‌کروماتیک مغز استخوان گروه تجربی (8±0/42) نسبت به گروه شاهد آزمایشگاهی (4/32±0/27) و کنترل (3/50±0/29) افزایش معنادار نشان داد (P<0/001) (نمودار 2).



نمودار 1- مقایسه میانگین تعداد میکرونوکلئوس در اریتروسیت‌های خون محیطی جنین‌ها در سه گروه (P>0/05)



نمودار 2- مقایسه میانگین تعداد میکرونوکلئوس در اریتروسیت‌های پلی‌کروماتیک مغز استخوان موش‌های ماده باردار 18/5 روزه در سه گروه (P<0/001)

بحث

پژوهش حاضر برای بررسی اثرات امواج ساطع‌شده از تلفن‌های همراه در ایجاد آسیب‌های ژنتیکی و بافتی در خون محیطی و طحال جنین‌های 18/5 روزه موش نژاد Balb/C و همچنین آسیب‌های ژنتیکی در اریتروسیت‌های خون محیطی و مغزاستخوان موش‌های ماده باردار انجام شد.

نتایج نشان داد امواج ساطع‌شده از تلفن همراه با فرکانس 940 مگاهرتزی، تغییر ریخت‌شناسی بر جنین‌های 18/5 روزه ندارد ولی باعث کاهش وزن آن‌ها می‌شود. این نتایج با گزارش لوئیس (Louis) مطابقت دارد. در گزارش وی موش‌های حامله نژاد CD-1 به‌مدت 100 دقیقه در روز، از روز 17-1 بارداری در معرض امواج با فرکانس 2/45 گیگاهرتز قرار داده شدند و در روز 18 بارداری تشریح شده و جنین‌ها از نظر ناهنجاری بررسی شدند. نتایج وی نشان داد که وزن جنین‌های تجربی کم‌تر از گروه شاهد بود (14). در تجربه دیگری نیز تعدادی موش صحرایی نژاد Spragu-Dawley از روز 20-6 حاملگی در معرض مایکروویو قرارداده شدند. وزن جنین‌های ماده تجربی نسبت به گروه شاهد کاهش نشان داد (15). عده‌ای ازمحققین معتقدند تیمار طولانی‌مدت با سطح پایین انرژی مایکروویو، تأثیر شدیدی روی بقای حیوانات و یا شیوع سرطان در آن‌ها ندارد (16). اکونور (Occonnor) نیز موش‌های صحرایی را در معرض امواج 2450 مگاهرتز قرار داد و کاهش معناداری در وزن جنین‌ها مشاهده نمود. وی دلیل این کاهش وزن را استرس گرمایی ایجادشده در مادر عنوان نموده است (17). برخی از محققین مطالعه‌ای روی نوزادان خانم‌های فیزیوتراپیست انجام دادند و نتیجه گرفتند وزن نوزادان آن‌ها در هنگام تولد کم‌تر از گروه کنترل می‌باشد. آن‌ها نیز استرس گرمایی ناشی از امواج را علت اصلی این کاهش وزن ذکر نموده‌اند و گزارش کرده‌اند که افزایش دما در مراحل رشد و نموی خاص جنین، نه‌تنها ممکن است باعث مرگ جنین‌ها شود بلکه تأخیر در رشد جنین را نیز ایجاد می‌کند. این مسأله می‌تواند توضیحی برای وزن کم‌تر نوزادان گروه تجربی در تحقیق حاضر نیز باشد (18). محسنی کوچصفهانی و همکاران با مطالعه اثرات امواج الکترومغناطیس با فرکانس کم بر سیستم خون‌ساز موش نشان دادند که تحت شرایط به‌کار برده‌شده، مواجهه درون رحمی با میدان الکترومغناطیسی با فرکانس برق شهر موجب بروز ناهنجاری در جنین‌ها نمی‌شود ولی تعداد سلول‌های کوپفر و تعداد لنفوسیت‌ها را در پولپ سفید طحال بعد از تولد افزایش می‌دهد (19). همچنین نگیشی (Negishi) موش‌های صحرایی Spragu-Dawleyl را در روزهای 15-8 بارداری در معرض میدان‌های مغناطیسی پلاریزه با شدت 350 میکروتسلا قرار داد اما تأثیری در تکوین جنین موش مشاهده نکرد (20). تعدادی از محقین دلیل این تناقضات را اختلاف در نوع حیوان استفاده‌شده، دوره تیمار، شدت امواج و شرایط محیطی متفاوت می‌دانند (15).

از نتایج دیگر پژوهش حاضر، عدم تغییر تعداد لنفوسیت‌های طحال جنین‌های تجربی نسبت به گروه شاهد بود. این نتیجه نیز با گزارشات برخی از محققین منطبق است. گاتا (Gatta) موش نژاد C57BL/6 را 2 ساعت در روز به‌مدت 1، 2 یا 4 هفته در معرض امواج 900 مگاهرتزی مایکروویو قرار داد. بعد از یک‌هفته تولید اینترفرون گاما افزایش نشان داد درحالی‌که در هفته 2 یا 4 افزایشی مشاهده نشد. این محقق اشاره می‌کند که احتمالاً سیستم ایمنی با امواج رادیوفرکانس سازش می‌یابد. برخی گزارشات نیز نشان داده است که این امواج تأثیر قابل‌توجهی روی تعداد لنفوسیت‌های B و T ایجاد نمی‌کند. بنابراین می‌توان گفت امواج رادیوفرکانس به‌طور کلینیکی اثرآشکاری روی سیستم ایمنی ندارد (21). پرسیکو (Prisco) نیز در سال 2006 اثرات امواج 900 مگاهرتز را روی تمایز سلول‌های B محیطی و تولید آنتی‌بادی در موش بررسی کرد. وی اختلافی در تعداد لنفوسیت‌های B محیطی و تولید آنتی‌بادی گزارش نکرد. تولید IgM ویژه آنتی‌ژن و تولید IgG نیز که برای

میانکنش لنفوسیت‌های B و T مورد نیاز است تحت این امواج تغییری نداشت (22). گروهی از محققین نیز با بررسی اثرات امواج تلفن‌های همراه در موش بالغ Swiss Albino گزارش کردند که این امواج باعث نفوذ سلول‌های التهابی تک‌هسته‌ای در نواحی بین لبولی در کبد و کلیه می‌شوند و در طحال نیز با افزایش فضاهای سینوزوئیدی پولپ سفید در گروه تجربی نسبت به شاهد آزمایشگاهی گسترش می‌یابد (23).

نتایج پژوهش افزایش تعداد مگاکاریوسیت‌ها و گلبول‌های قرمز طحال را در جنین‌های گروه تجربی نشان داد. این یافته با نتایج برخی تجربیات قبلی در مورد اثرات امواج الکترومغناطیس با فرکانس کم و نیز اثرات مایکروویو بر سیستم خون‌ساز موش کوچک آزمایشگاهی مطابقت دارد (19 و 24). همچنین برخی گزارشات نیز در ارتباط با افزایش تقسیمات میتوزی در سلول‌های جنسی اولیه و افزایش تعداد فولیکول‌های تخمدانی تحت تأثیر امواج الکترومغناطیس، تأییدی دیگر بر نتایج حاصل از این تحقیق مبنی بر افزایش تعدادی از سلول‌ها می‌باشد (25 و 26). در توجیه مکانیسم اثرگذاری این امواج، گروهی از محققین با مطالعه اثرات حرارتی و غیرحرارتی آن‌ها پیشنهاد کرده‌اند که این امواج بر تقسیم سلولی مؤثر است. ولی آن‌ها تأکید دارند شدت پاسخ به تیمار، بستگی زیادی به شرایط فیزیولوژیک موجود در زمان پرتوگیری دارد (26). نتایج حاصل از برخی مطالعات نیز نشان داده است که امواج تلفن همراه در نتیجه فعال کردن یک مکانیسم مولکولی، باعث القا فعالیت آبشار ERK (extracellular-signal-regulated kinase) می‌شود و بنابراین باعث تحریک رونویسی و فرایندهای سلولی دیگر می‌گردد (27). همچنین در بیان تعدادی از پروتئین‌ها شامل c-Jun و c-fos (28 و 29)، HSP70 (30و31) و HSP27 که توسط امواج تلفن همراه القا می‌شوند (32) افزایش بیان این پروتئین‌ها ممکن است در القا فرایندهای سلولی مختلف شامل نسخه‌برداری و پیشرفت سیکل سلولی نقش مهمی ایفا کند (33).

از نتایج دیگر تحقیق حاضر، افزایش تعداد میکرونوکلئوس‌ها در اریتروسیت‌های پلی‌کروماتیک مغز استخوان مادران حامله است. در این خصوص نیز مطالعات متنوعی توسط دانشمندان صورت گرفته و نتایج ضد و نقیضی نیز به‌دست آمده است. گورلیتز (Gorlitz) موش‌های نژاد B6C3F1 را به‌مدت یک و شش هفته در معرض امواج رادیویی GSM/DCS به‌مدت 2 ساعت در روز و 5 روز در هفته قرار داد. وی افزایشی در تعداد میکرونوکلئوس در اریتروسیت‌های مغز استخوان، خون محیطی، کراتینوسیت‌های دم و لنفوسیت‌های طحال مشاهده نکرد (34). در مطالعه دیگری آسیب‌های کروموزومی در اریتروسیت‌های نوزادان موش صحرایی که در طول دوران بارداری در معرض سیگنال‌های UHF-EMF غیرحرارتی قرار گرفته بودند بررسی و افزایش معناداری در تعداد میکرونوکلئوس‌ها مشاهده شد (35). همچنین محققین نشان داده‌اند امواج الکترومغناطیس با فرکانس بسیار پایین (50هرتز)، آسیب‌های کروموزومی را در اریتروسیت‌های پلی‌کروماتیک مغز استخوان موش نر افزایش می‌دهد (36). برخی مطالعات نیز بیان‌گر آن است که تیمار موش سوئیسی با اشعه گاما منجر به افزایش میکرونوکلئوس‌های مغز استخوان می‌شود و اثرات ماکزیمم در 24 ساعت پس از تیمار مشاهده می‌گردد. محققین نشان دادند که اریتروسیت‌های پلی‌کروماتیک حاوی میکرونوکلئوس بعد از 36 ساعت از مغز استخوان به خون محیطی مهاجرت می‌نمایند (37). این مکانیسم می‌تواند وجود میکرونوکلئوس در اریتروسیت‌های مغز استخوان و عدم وجود آن در اریتروسیت‌های خون محیطی موش‌های حامله در پژوهش حاضر را توجیه کند. از طرفی عدم وجود میکرونوکلئوس در خون محیطی جنین‌ها نیز می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد. به عقیده زوسمان (Zusman)، سیستم‌های حفاظتی مادر با مکانیسمی ناشناخته مانع از تأثیر عوامل فیزیکی و آسیب جنین‌های موجود در رحم می‌گردد (38). از طرفی خون‌سازی در

مغز استخوان جنین موش از روز 18-17 بارداری آغاز می‌شود (39) بنابراین حتی در صورت تشکیل میکرونوکلئوس در اریتروسیت‌های پلی‌کروماتیک مغز استخوان، این سلول‌ها هنوز به خون محیطی مهاجرت نکرده‌اند. در توجیه مکانیسم اثرگذاری این امواج روی آسیب DNA، گروهی از دانشمندان ترادفی از DNA را که ناحیه پاسخ به میدان‌های الکترومگنتیک نام دارد در پروموتورهای ژن‌های C-myc و Hsp70 پیشنهاد نمودند (40)، آن‌ها دریافتند فعال شدن این ژن‌ها در اثر میدان‌های الکترومغناطیس، باندهای هیدروژنی را در این مناطق خاص از DNA بی‌ثبات کرده و باعث آسیب به آن می‌شود. بلانک (Blank) نیز گزارش کرد که میدان‌های الکترومغناطیس می‌تواند روی هموستازی آهن در سیستم‌های بیولوژی تأثیر بگذارد و منجر به افزایش آهن آزاد سیتوپلاسمی و هسته‌ای شود. این مسأله ممکن است تولید رادیکال‌های هیدروکسیل را افزایش داده و منجر به آسیب DNA گردد (41 و 42). اکانو (Okano) معتقد است که امواج رادیویی اثراتشان را روی سیستم‌های بیولوژیکی به‌وسیله تولید یا افزایش ROS (گونه اکسیژن واکنشی) اعمال می‌کنند. ROS به‌عنوان یک واسطه در تعداد زیادی از اثرات بیولوژیکی شامل آسیب DNA و القاء موتاسیون نقش دارد (43). در همین راستا گروهی از محققین نشان داده‌اند تیمار موش‌های صحرایی با Trolox (آنالوگ ویتامین E) که ازبین‌برنده قوی رادیکال‌های آزاد می‌باشد از شکست‌های DNA در سلول‌های مغز آن‌ها جلوگیری می‌کند. همچنین تیمار آن‌ها با 7-نیترونیدازول که مهارکننده نیتریک اکساید می‌باشد باعث مهار اثرات این امواج می‌گردد (42).

نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر بیان‌گر آن است که امواج تلفن همراه بر ساختار کلی بافت طحال تأثیر عمیقی ندارد ولی باعث افزایش تعدادی از سلول‌های این بافت می‌شود. همچنین این امواج باعث القای آسیب کروموزومی و افزایش فراوانی میکرونوکلئوس در اریتروسیت‌های پلی‌کروماتیک مغز استخوان موش‌های ماده باردار می‌گردد. لذا رعایت نکات ایمنی و احتیاط‌های لازم در به‌کارگیری دستگاه‌های مولد مایکروویو نظیر تلفن‌های همراه توسط افراد انسانی، به‌ویژه زنان باردار ضروری است. کاهش زمان مکالمات یکی از راه‌کارهای مهم حفاظتی می‌باشد. همچنین مصرف غذاهای حاوی آنتی‌اکسیدان مانند ویتامین‌های C، A و E نیز برای کاهش اثرات مخرب این امواج توصیه می‌گردد.

تشکر و قدردانی

از مدیر گروه محترم زیست‌شناسی و همکاران محترم آزمایشگاه تحقیقاتی تکوین جانوری دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، به‌ویژه خانم سعیده ظفربالانژاد تقدیر و سپاس‌گزاری می‌شود.

References

1. Verschaeve L. Genetic damage in subjects exposed to radiofrequency radiation. Mut Res/Rev Mut Res 2009; 681(2-3): 259-70.
2. Repacholi MH. Health risks from the use of mobile phones. Toxicolo Lett 2001; 120(1-3): 323-31.
3. Meltz ML. Radiofrequency exposure and mammalian cell Toxicity, Genotoxicity and Transformation. Bioelectromagnetics 2003; 6(S): 196- 213.
4. Balodo Z. Assessment of radio-frequency electromagnetic radiation by the micronucleus test in bovine peripheral erythrocytes. Sci tot Env 1999; 180(1): 81-5.
5. Anderson LE, Sheen DM, Wilson BW, Grumbein SL, Creim JA, Sasser LB. Two-year chronic bioassay study of rats exposed to a 1/6 GHZ radiofrequency signal. Radiat Res 2004; 162(2): 201-10.
6. Pirozzoli MC. Effect of 50 HZ electromagnetic field exposure on apoptosis and differentiation in a neuroblastoma cell line. Bioelectromagnetics 2003; 24(7): 510-16.

7. Gona AG, AL-Rabiai S, Von Hagen S. Effects of 60 HZ electric and magnetic fields on the development of the rat cerebellum. Bioelectromagnetics 1993; 14(5): 433-47.
8. Ammari M, Brillaud E, Gamez C, Lecomte A, Sakly M, Abdelmelek H, et al. Effect of a chronic GSM900 MHz on glia in the rat brain. Biomed pharmacother 2008; 62(4): 273-81.
9. Dasdag S, Akdag MZ, Ulukaya E, Uzunlar AK, Yegin D. Mobile phone exposure does not induce apoptosis on spermatogenesis in rats. Arch Med Res 2008; 39(1): 40-4.
10. Yilmaz F, Dasdag S, Akdag MZ, Killinc N. Whole-body exposure of radiation emitted from 900 MHZ mobile phones does not seem to affect the levels of anti-apoptotic bcl-2 protein. Electromagn Biol Med 2008; 27(1): 65-72.
11. Erogul O, Oztas E, Yildirim I, Kir T, Aydur E, Komesli G, et al. Effects of electromagnetic radiation from a cellular phone on human sperm motility: an in vitro study. Arch Med Res 2006; 37(7): 840-3.
12. Baharara J, Oryan Sh, Ashraf AL. [The effects of microwaves (940MHz) on ovary and fertility of Balb/C mouse (Persian)]. Science Journal of Tarbiyat Moalem University 2008; 7(3-4): 931-40.
13. Mashevich M, Folkman D, Kesar A, Barbul A, Korenstein R, Jerby E. Exposure of human peripheral blood lymphocytes to electromagnetic fields associated with cellular phones leads to chromosomal instability. Bioelectromagnetics 2003; 24(S6): 82-90.
14. Louis N, Merritt H. Radiofrequency fields and teratogenesis. Bioelectromagnetics 2003; 24(S6): 174 -86.
15. Ryan BM, Mallet E, Johnson TR, Gauger JR, McCormick DL. Developmental toxicity study of 60 Hz (power frequency) magnetic fields in rats. Teratology 1996; 54(2): 73-83.
16. Elder JA. Survival and cancer in laboratory mammals exposed to radiofrequency energy. Bioelectromagnetics 2003; (S 6): 101-6.
17. Oconner ME. Intrauterine effects in animals exposed to radiofrequency and microwave field. Teratology 1999; 599(4): 287-91.
18. Lerman Y. Jacubovich R. Green MS. Pregnancy outcome following exposure to short waves among female physiotherapist in Israel. Am J Ind Med 2001; 39(5): 499-504.
19. Mohseni Kochesfahani H, Parivar K, Golestanian N. [The effect of electromagnetic fields(60 Hz) with solenoid on development of hematopoiesis system Balb/C mouse(Persian)]. Science Journal of Tehran University 2000; 26: 1-15.
20. Negishi T, Nishimura I, Itabashi M, Imai Sasano T. Studies of 50 Hz circularly polarized magnetic fields of up to 350 micro T on reproduction and embryo-fetal development in rats: exposure during organogenesis or during pre implantation. Bioelectromagnetic 2002; 23(5): 369-89.
21. Gatta L, Pinto R, Ubaldi V, Pace L, Galloni P, Lovisolo GA, et al. Effects of in vivo exposure to GSM-modulated 900 MHZ radiation on mouse peripheral lymphocytes. Radiat Res 2003; 160(5): 600-5.
22. Nasta F, Prisco MG, Pinto R, Lovisibo GA, Marino C, Pioli C. Effects of GSM-Modulated radiofrequency electromagnetic fields on B-cell peripheral differentiation and antibody production. Radiat Res 2006; 165(6): 664-70.
23. Al-Glaib B, AL-Dardfi M, AL-Tuhami A, Elgenaidi A, Dkhil M. A technical report on the effect of radiation from mobile on mice organs. Libyan Journal of Medicine 2008; 3(1): 1-8.
24. Baharara J, Parivar K, Ashraf AL, Majidi B. [The effects of mobile phone waves (940MHz) on embryonic development of hematopoiesis system in Balb/C mouse(Persian)]. Journal of Shahrekord University of Medical Sciences 2008; 10(1): 1-8.
25. Baharara J, Parivar K, Oryn Sh, Ashraf Al. [The effects of stimulating cell phone waves on gonads of male mouse(Persian)]. Rah Avard Danesh 2007; 9(2): 8-16.
26. Hyland GJ. Physics and biology of mobile telephony. Lancet 2000; 356: 1833-6.
27. Seger R, Schiff Y, Hauptman Y, Kraus S, Fridman J. Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies. Biochem J 2007; 405(3): 559-68.
28. Chauhan V, Mariampillai A, Bellier PV, Qutob S, Gajda GB, Lemay E, et al. Gene expression analysis of a human lymphoblastoma cell line exposed in vitro to an intermittent 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency field. Radiat Res 2006; 165(4): 424–29.
29. Stagg RB, Hawel LH, Pastorian K, Cain C, Adey WR, Byus CV. Effect of immobilization and concurrent exposure to a pulse-modulated microwave field on core body temperature, plasma ACTH and corticosteroid, and brain ornithine decarboxylase, Fos and Jun mRNA. Radiat Res 2001; 155(4): 584–92.
30. Lin H, Opler M, Head M, Blank M, Goodman R. Electromagnetic field exposure induces rapid, transitory heat shock factor activation in human cells. J Cell Biochem 1997; 66(4): 482–8.
31. Caraglia M, Marra M, Mancinelli F, D'Ambrosio G, Massa R, Giordano A, et al. Electromagnetic fields at mobile phone frequency induce apoptosis and inactivation of the multi-chaperone complex in human epidermoid cancer cells. J Cell Physiol 2005; 204(2): 539-48.

32. Leszczynski D, Joenvaara S, Reivinen J, Kuokka R. Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. Differentiation 2002; 70(2-3): 120–9.
33. Capri M, Scarcella E, Fumelli C, Bianchi E, Salvioli S, Mesirca P, et al. In vitro exposure of human lymphocytes to 900 MHz CW and GSM modulated radiofrequency: studies of proliferation, apoptosis and mitochondrial membrane potential. Radiat Res 2004; 162(2): 211–18.
34. Gorlitz BD, Muller M, Ebert S, Hecker H, Keuster N, Dasenbrock C. Effects of 1-week and 6-week exposure to GSM/DCS radiofrequency radiation on micronucleus formation in B6c3F1 mice. Radiat Res 2005; 164(4 pt 1): 431–9.
35. Ferreira AR, Knakievicz T, Pasquali MA, Gelain DP, Dal-Pizzol F, Fern?ndez CE, et al. Ultra high frequency–electromagnetic field irradiation during pregnancy leads to an increase in erythrocytes micronuclei incidence in rat offspring. Life Sci 2006; 80(1): 43-50.
36. Baharara J, Hadad F, Ashraf AL, Khandero E. The effect of extremely low frequency electromagnetic field(50Hz)on induction of chromosomal damages on bone marrow erythrocytes of male Balb/C mouse(Persian). Journal of Arak University of Medical Sciences 2008; 11(2): 19-26.
37. Chaubey RC, Bhilwade HN, Joshi BN, Chauhan PS. Studies on the migration of micronucleated erythrocytes from bone marrow to the peripheral blood in irradiated Swiss mice. Int J Radiat Biol 1993; 63(2): 239-45.
38. Zusman I, Yaffe P, Pinus H, Ornoy A. Effects of pulsing electromagnetic fields on the prenatal development in mice and rats: in vivo and in vitro studies. Teratology 1990; 42(2): 157-70.
39. Baron H. Embryonic origins of mammalian hematopoiesis. Exp Hematol 2003; 31(12): 1160-9.
40. Lin H, Blank M, Rossol-Haseroth K, Goodman R. Regulating genes with electromagnetic response elements. J Cell Biochem 2001; 81(1):143-8.
41. Blank M, Goodman R. Initial interactions in electromagnetic field-induced biosynthesis. J Cell Physiol 2004; 199(3): 359-63.
42. Lai H, Singh NP. Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. Environ Health Perspect 2004; 112(6): 687–94.
43. Okano H. Effects of static magnetic fields in biology: role of free radicals. Front Biosci 2008; 13(1): 610-25.