

بررسی اثر میدانهای الکترومغناطیس بر دستگاه تولید مثلی موش نر

✉ محمد رضا نیکروش *Ph.D.، مهدی جلالی *Ph.D.

*گروه علوم تشریح دانشکده پزشکی مشهد

تاریخ وصول: فروردین ماه ۸۴، تاریخ پذیرش: اردیبهشت ماه ۸۴

چکیده

هدف: ارزیابی آثار هیستوپاتولوژیک احتمالی میدانهای الکترومغناطیسی با فرکانسهای اندک بر دستگاه تولید مثلی موش نر
مواد و روشها: برای این مطالعه ۱۸ موش نر blab/c در سن ۶ هفتهگی اتفاقی به ۳ گروه ۶ تایی آزمون ۲،۱ و کنترل تقسیم شدند. گروههای آزمون به مدت ۱۰ روز (هر روز به مدت ۸ ساعت) به ترتیب در محفظه‌ای با تشعشع میدانهای الکترومغناطیسی ۵۰ هرتز و ۰/۱ یا ۰/۵ میلی تسلا قرار گرفتند. در حالی که برای گروه کنترل در مدت زمان یاد شده از محفظه‌ای بدون تشعشع استفاده شد. در پایان دوره، نمونه‌های هر دو گروه بعد از بیهوشی قطع نخاع شده و بیضه‌های آنان مورد آماده‌سازی بافتی قرار گرفت و پس از تهیهی برشهای سریال و رنگ‌آمیزی با استفاده از میکروسکوپ نوری مطالعه شدند.

یافته‌ها: مطالعات مربوط به گروههای دریافت‌کننده میدانهای الکترومغناطیس نشان داد که شمار سلولهای جنسی لوله‌های منی ساز در گروه آزمون ۲ نسبت به گروه آزمون ۱ و کنترل دارای کاهش معنی داری است ($P < 0.005$). مطالعات بافت‌شناسی مربوط به نمونه‌های مختلف نیز نشان داد که قطر خارجی مربوط به گروههای مختلف تغییر معنی‌داری پیدا نکرده است.

نتیجه‌گیری: دریافت تشعشعات الکترومغناطیسی مدت‌دار با فرکانسهای اندک نیز ممکن است به تغییرات ساختاری دستگاه تولید مثلی جنس نر منجر شود تا آنجا که بتواند بر ساختاری سازمانی لوله‌های منی ساز تاثیر نامطلوب بگذارد و روند اسپرماتوژنز را با اشکال مواجه نماید.

کلید واژه‌ها: میدانهای الکترومغناطیس، دستگاه تولید مثلی نر، موش

مقدمه

ترنهای برقی [۳] و کاربران تجهیزات بیمارستانی [۴] یادآوری شود و موضوع استفاده از تلفن‌های همراه در سالهای اخیر بحثی فراگیر به دنبال داشته باشد [۵-۸]. بنابراین محققین مختلف عوارض متعددی از قبیل آثار توکسیک [۹]، کارسینوژنیک [۱۰ و ۱۱]، قلبی عروقی [۱۲]، عصبی [۱۳] و آثار سقط زایی و ناهنجاری زایی در دوران بارداری را به این میدانها نسبت داده‌اند [۱۴].

براساس تعریف‌های موجود، میدانهای الکترومغناطیس با فرکانس پایین میدانهایی هستند که انرژی فوتونهای آنها برای شکستن پیوندهای اتمی بسیار ضعیف است. بنابراین میدانهای الکترومغناطیسی پایین‌تر از ۶۰ هرتز که در شمار میدانهای ضعیف قرار می‌گیرند به صورت تجربی می‌توانند از

همواره در طول دو دهه‌ی اخیر در مورد کسانی که در حوزه‌ی تابش‌های میدانهای الکتریکی یا الکترومغناطیسی ضعیف قرار می‌گیرند این پرسش مطرح بوده است که تشعشعات ناشی از این گونه میدانها، ممکن است سلامت آنها را به مخاطره اندازد. بر همین اساس گزارشهای پراکنده‌ای از شواهد انسانی در این رابطه به ثبت رسیده است که بازگوکننده‌ی این است که زندگی در حوزه‌ی عمل چنین میدانهایی خالی از خطر نیست. سپس در این رابطه سعی شده است تا خطرات احتمالی این تاثیرگذاری بر زندگی شغلی بسیاری از افراد مختلف از جمله پرسنل ایستگاههای مخابراتی [۱]، رادیویی [۲]، رانندگان

✉ آدرس مکاتبه: مشهد، خیابان دانشگاه، دانشکده پزشکی، گروه علوم تشریح، کد پستی ۹۱۳۷۶
Email: Nikravesh@hotmail.com

گروههای آزمون ۱ و ۲ به ترتیب در معرض دریافت تشعشع میدانی الکترومغناطیس ۵۰ هرتز و ۰/۱ یا ۰/۵ میلی تسلا قرار گرفتند و برای گروه کنترل از محفظه‌ای بدون تشعشع در مدت زمان یاد شده استفاده شد. در پایان دوره و به فاصله ۸ ساعت از آخرین دریافت اشعه، نمونه‌های مربوط به همه گروهها پس از بیهوشی با کلروفورم قطع نخاع شده و بیضه‌های آنان پس از جداسازی به قطعات ۵ میلیمتری تقسیم شده و در فرمالین ۱۰ درصد تثبیت شد. سپس با انجام عملیات آماده‌سازی بافتی و تهیه بلوک‌های پارافینی، برشهایی در جهت افقی به ضخامت ۷ میکرون تهیه شده و از مجموع برشهای سریال به دست آمده از هر ۵ برش یک برش انتخاب و با استفاده از هماتوکسیلین - اتوزین، رنگ آمیزی شد.

اندازه‌گیری عناصر بافتی و جمع‌آوری داده‌ها

برای تعیین دانسیته حجمی اجزای مورد نظر در ساختمان بافتی بیضه نمونه‌های گروههای مختلف سعی شد تا براساس مطالعات مورفومتریکی wings و همکاران [۱۹] قطر داخلی و خارجی توپول‌های بیضه مشخص شود و سلولهای جداری و آزاد نیز با استفاده از روش دایسکتور مورد شمارش قرار گیرند. برای این منظور برشهای سریال به دست آمده از بیضه نمونه‌های متعلق به هر یک از گروهها با استفاده از میکروسکوپ نوری مطالعه شد. روش مطالعه به این ترتیب بود که با قرار دادن یک مربع مدرج میلیمتری در پشت عدسی چشمی میکروسکوپ، واحد مشخصی برای اندازه‌گیری میدانهای میکروسکوپی به فاصله هر چهار میدان از یک میدان نمونه برداری شد. در این بررسی علاوه بر شمارش رده‌های مختلف سلولهای جنسی و ثبت آنها در کادریهای اندازه‌گیری، قطر خارجی و داخلی مقاطع توپول‌هایی که در داخل کادر نمونه برداری قرار گرفته بودند با استفاده از خط کش میکرومتری میدان دید اندازه‌گیری شده و با تفاضل آنها ضخامت جدار توپولها نیز در هر مورد به دست آمد. نتایج به دست آمده از شمارش مقاطع مربوط به هر حیوان قریب به ۱۰۰ میدان بود که با در نظر گرفتن ضخامت برشها، میانگین سلولهای جنسی رده‌های مختلف در واحد حجم

دستگاههای طراحی شده‌ی آزمایشگاهی تشعشع یافته و به این ترتیب در یک محیط بسته و محدود می‌توان از این گونه طراحی‌ها در ارزیابی دستگاههای صنعتی و الکتریکی پر قدرت که پرتوهای الکترومغناطیسی منتشر می‌کنند، استفاده نمود. در عین حال با توجه به اینکه شواهدی پیرامون تاثیر این گونه میدانها بر سلامت باروری انسان نیز مشاهده شده است [۱۵]، آمار مستندی از این گونه مشاهدات در مورد جمعیت‌های انسانی که مستقیم یا غیر مستقیم در معرض این گونه پرتوها قرار می‌گیرند ارایه نشده است. به هر حال، برخی از مطالعات تجربی از قبیل تاثیرگذاری میدانهای الکترومغناطیس بر باروری موشهای نر [۱۶] و ایجاد موتاسیون در سلولهای ژرمینال آنها و همچنین آتروفی معنی دار بیضه در نسلهای بعدی آنان [۱۷]، این فرضیه را قوت می‌بخشد که تشعشعات میدانی طولانی مدت ممکن است در روند طبیعی اسپرماتوژنز ایجاد اختلال نموده و از این طریق روند تکثیر و تمایز سلولهای جنسی را تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین با توجه به نبودن شواهد انسانی کافی و مطالعات اندک آزمایشگاهی در بهره‌گیری از میدانهای متناوب، در این مطالعه سعی شد تا تاثیر این گونه میدانها در شرایط زمانی یکسان و با دو شدت متفاوت بر فعالیت بیضه موشهایی که به آستانه بلوغ جنسی رسیده بودند، بررسی شده و روند اسپرماتوژنز در آنان با شرایط طبیعی مقایسه شود.

مواد و روشها

حیوان آزمایشگاهی و ایجاد میدان

از آنجایی که حدود ۴۰ روز طول می‌کشد تا پس از تولد لوله‌های اسپرم‌ساز در بیضه موش به تکامل نهایی خود نزدیک شوند [۱۸]، در این مطالعه از ۱۸ موش نر نژاد blab/c در سن ۶ هفتهگی استفاده شد که به صورت تصادفی به ۳ گروه مساوی تقسیم شدند. سپس با استفاده از دستگاهی که در مطالعات قبلی به منظور بررسی تاثیر میدانهای الکترومغناطیس بر روند ترمیم ضایعه اعصاب محیطی حیوانات آزمایشگاهی طراحی شده بود، گروههای آزمون برای مدت ۱۰ روز (هر روز به مدت ۸ ساعت) در محفظه دستگاه قرار داده شدند با این تفاوت که

می‌شوند، در گروه‌های آزمون (شکلهای ۱ و ۲) نسبت به کنترل به شکل معنی داری کاهش نشان داد. علاوه بر این؛ وجود سلولهای پراکنده‌ای با هسته‌های پیکنوز در جدار لوله‌های مربوط به گروه آزمون ۲ قابل مشاهده بود که چنین پدیده‌ای در سایر گروه‌های مشاهده نشد. اما تنوع رده‌های سلولی و تعداد آنها در گذر از بخش جداری به بخش مرکزی در مقایسه با نمونه‌های کنترل کاهش یافته بود.

بحث

مطالعات مورفومتریک و مقایسه‌ی شمارش سلولی لوله‌های منی‌ساز در گروه‌های مختلف مربوط به این مطالعه نشان داد که در ارتباط با قطر داخلی لوله‌ها و ضخامت جداری آنها و همچنین تعداد سلولهای جنسی شمارش شده در گروه‌های آزمون و کنترل اختلاف معنی داری وجود دارد که تاثیرگذاری میدانهای الکترومغناطیس اعمال شده را بر گروه‌های آزمون مورد تایید قرار می‌دهد. در تحقیق دیگری نشان داده شده است که هرگاه حیوانات آزمایشگاهی در معرض بعضی از پرتوها قرار گیرند روند اسپرماتوزنز در آنان ممکن است تحریک شود [۲۰] اما در ارتباط با تاثیرگذاری این گونه میدانها بر دستگاه تولید مثلی پستانداران از سوی محققین مختلف اتفاق نظر وجود ندارد. بعضی از پژوهشهای انجام شده در ارتباط با پستانداران کوچک این تاثیرگذاری را تایید نمی‌کند [۲۱] و حال آنکه در بعضی از پژوهشهای مشابه، اثرگذاری این میدانها بر دستگاه تولید مثلی با احتیاط مورد تایید قرار گرفته [۲۲ و ۲۳] و در ضمن عنوان شده است که تاثیر آن در گونه‌های جانوری نزدیک به هم ممکن است متفاوت باشد. به عنوان مثال دو گروه از رت‌های نر و ماده‌ی نژاد Sprague-Dawley به ترتیب در دو دوره‌ی زمانی ۴۵ و ۹۰ روزه تحت تاثیر یک میدان الکترومغناطیس با مقیاس ۵۰ هرتز و ۲۵ میلی تسلا قرار گرفتند که در پایان دوره، توانایی باروری هر دو جنس در گروه ۹۰ روزه نسبت به گروه ۴۵ روزه به شکل معنی داری کاهش یافت [۲۴]؛ در حالی که همین آزمایش در موشهای نژاد swiss تکرار شد و تغییری در باروری آنان مشاهده نشد [۲۵]. از سوی دیگر با توجه به این که فعالیت

(mm³) نیز مورد محاسبه قرار گرفت و با تعیین میانگین هر یک از پارامترهای جمعیت سلولی و قطرهای خارجی و داخلی لوله‌ها، میانگین کلی مربوط به هر یک از اندازه‌ها نیز (مطابق جدول) محاسبه شده و نسبت به همدیگر مقایسه شد. سپس نتایج به دست آمده با استفاده از آنالیز واریانس و t-test مورد مقایسه آماری قرار گرفت.

جدول ۱. تغییرات قطر لوله‌های اسپرم‌ساز و سلول‌های جنسی جدار

آنها در گروه‌های آزمون و کنترل

میانگین مربوط به هر گروه‌ها*	کنترل	آزمون ۱	آزمون ۲
قطر خارجی توبول‌ها ($P > 0.05$)	$62/77 \pm 2/11$	$64/08 \pm 1/13$	$63/21 \pm 2/21$
قطر داخلی توبول‌ها ($P > 0.005$)	$36/51 \pm 3/66$	$42/83 \pm 1/29$	$45/22 \pm 2/17$
ضخامت جداری ($P > 0.05$)	$13/66 \pm 4/11$	$10/12 \pm 2/13$	$9/86 \pm 1/74$
سلول‌های جنسی ($P > 0.005$)	$2372 \pm 213/77$	$1829 \pm 114/82$	$1646 \pm 412/18$

* اندازه‌گیری قطر توبول‌ها براساس μm و شمارش سلولی در واحد حجم (mm³) انجام گرفته است.

اعداد نمایانگر میانگین $\pm$ خطای استاندارد هستند.

یافته‌ها

مطالعه‌ی ناشی از شمارش سلولهای جنسی موجود در جدار لوله‌های منی‌ساز در گروه‌های مختلف نشان دهنده‌ی این پیشامد بود که در گروه آزمون ۲ نسبت به گروه ۱ و کنترل کاهش معنی داری وجود دارد اما چنین تفاوتی بین گروه آزمون ۱ و کنترل معنی دار نبود.

مقایسه‌ی میانگین قطر خارجی لوله‌های منی‌ساز در گروه‌های مختلف تفاوت چشمگیری را نشان نداد در حالی که قطر داخلی لوله‌ها در گروه‌های آزمون نسبت به کنترل افزایش یافته (شکل‌های ۱-۳) و بر همین اساس از ضخامت جدار آنها در گروه‌های آزمون کاسته شده بود (جدول ۱). در این ارتباط تعداد لایه‌ها و جمعیت سلولی موجود در جدار لوله‌ها که در گذر از مراحل مختلف تمایز، در نهایت به اسپرمهای آزاد شده منجر

لوله‌های منی‌ساز تحت تاثیر عواملی از قبیل گرما یا ترکیبات شیمیایی گوناگون تغییر یافته و آسیب پذیری آنها به صورت مرگ سلولی (Apoptosis) بروز می‌نماید [۲۶ و ۲۷]؛ تاثیر میدانهای الکترومغناطیس نیز طبقاً بر پدیده اسپرماتوژنز بی‌تاثیر نبوده و از حیث شدت اشعه، مدت تابش و نحوه در معرض قرار گرفتن موجود زنده ممکن است آثار متفاوتی بر روند اسپرماتوژنز باقی بگذارد. بر اساس گزارشهای موجود، تشعشع این گونه میدانها به صورت متفاوت احتمالاً آثار بیولوژیکی مخرب‌تری از تحریک مداوم باقی می‌گذارد [۲۸ و ۲۹]. به عنوان مثال در موشهایی که به مدت ۴۴ هفته متوالی تحت تاثیر میدانی تشعشع ۶۰ هرتز قرار داشته‌اند روند اسپرماتوژنز طبیعی گزارش شده است [۳۰]؛ در صورتیکه اثر میدانهای ضعیف‌تر (۵۰ هرتز)، اما متناوب که در این پژوهش مد نظر قرار گرفت، آثار تخریبی بیشتری بر پدیده اسپرم‌زایی از خود نشان داد. این دگرگونی ممکن است از آنجا ناشی شود که قرار گرفتن در معرض میدانهای مداوم، احتمالاً نوعی سازگاری در موجود زنده ایجاد می‌نماید که فعالیت بیضه‌ها با گذشت زمان تغییرات چشمگیری در مقایسه با شرایط معمولی نشان نمی‌دهد [۳۱]. از سوی دیگر؛ اگرچه تفاوت معنی داری در اندازه‌گیری قطر خارجی لوله‌های منی‌ساز در گروههای مختلف مشاهده نشد، اما افزایش قطر داخلی لوله‌ها در گروههای آزمون نسبت به کنترل بیانگر این موضوع است که تعداد لایه‌های پیش‌ساز سلول‌های جنسی در جدار این لوله‌ها کاهش یافته و همان گونه که در بخش یافته‌ها آمده شده است، کاهش ضخامت جدار لوله‌ها خود تاییدی بر مرگ سلولی در این گروه‌ها است. در این رابطه اگرچه مکانیسم دقیق فرایند مرگ سلولی در این گونه موارد به درستی مشخص نیست؛ اما این امکان وجود دارد که مرگ سلولی به طرق مختلفی به وقوع بپیوندد. به عنوان مثال تاثیر میدانهای الکتریکی و الکترومغناطیسی بر هیپوفیز می‌تواند به تاثیرگذاری آن بر غدد آندوکراین انجامیده و به نوسانات سطح هورمونهای جنسی منجر شود و با اختلال در روند تکثیر و تمایز، به مرگ سلولی در غدد تناسلی انجامد [۳۲ و ۳۳]. همچنین بیان شده است که مرگ سلولهای جنسی

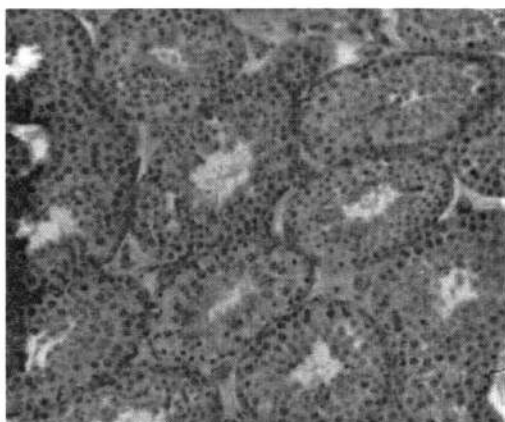
ناشی از این گونه میدانها با فقدان یا کاهش شدید گنادوتروپینها شروع می‌شود [۳۴]. در چنین مواردی ممکن است ترشح ملاتونین غده پینه‌آل متوقف شود و در عوض، تولید کاتکولامینها افزایش یافته و به برهم خوردن محیط اندوکراین منجر شود تا آنجا که باز دارندگی فعالیت محور هیپوفیزی - هیپوتالاموسی را در ارتباط با فعالیتهای تولید مثلی به دنبال داشته باشد [۳۶].

در مقایسه هیستوپاتولوژیکی ساختار سلولی لوله‌های منی‌ساز نیز آنچه مشاهده شد؛ دلیل بر این پیشامد است که رده‌های سلولی جداری در لوله‌های گروه کنترل از تعدد و تنوع بیشتری برخوردار بوده و روند طبیعی اسپرماتوژنز در این گروه در جریان است. در حالی که در گروههای آزمون کاهش چشمگیری در سلولهای جنسی در حال تکثیر و تمایز دیده می‌شود. بنابراین بر اساس کاهش تراکم سلولی در جدار لوله‌های منی‌ساز گروههای آزمون و به خصوص کاهش چشمگیر رده‌های نهایی سلولهای جنسی در گروه آزمون ۲ به نظر می‌رسد که تاثیر میدانهای الکترومغناطیس متناوب توانسته است به گونه‌ای بر روند اسپرماتوژنز تاثیر بگذارد و این پدیده را با مرگ سلولی مواجه نماید. براساس چنین فرضیه‌ای قبل از اینکه سلولهای جداری لوله‌های اسپرم‌ساز در نمونه‌های آزمون از تمایز کافی برخوردار شوند، احتمالاً قبل از رسیدن به مراحل نهایی تکامل دچار مرگ سلولی شده و از دست می‌روند. یک موضوع دیگر اینکه براساس شمارش سلولی به دست آمده از گروه آزمون ۲ و مقایسه آن با گروههای دیگر می‌توان نتیجه گرفت که میزان مرگ سلولی با شدت میدان نسبت مستقیم دارد زیرا میدان با شدت ۵/۰ میلی تسلا که در این گروه به کار گرفته شده است در مقایسه با ۱/۰ میلی تسلا در گروه ۱ توانسته است تاثیر معنی داری بر مرگ سلولی و کاهش سلولهای شمارش شده نشان دهد. بنابراین اگر این موضوع به انسان تعمیم داده شود بعید به نظر نمی‌رسد که آن دسته از کسانی که به صورت ناخواسته و دراز مدت در حوزه تشعشع این گونه میدانها واقع می‌شوند؛ صرفنظر از سایر عوارض یاد شده، فعالیت غدد تناسلی و روند اسپرماتوژنز نیز در آنان دچار اختلال شود.

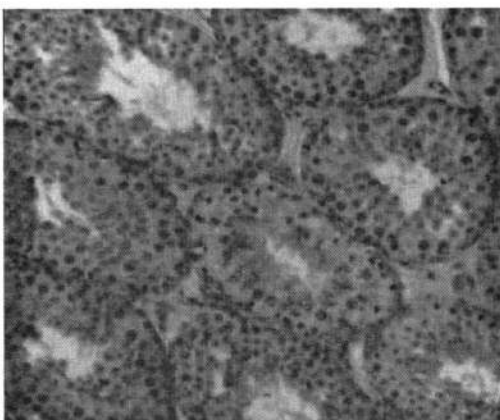
References

1. Bortkiewicz A, Zmyslony M, Szyjkowska A, Gadzicka E. Subjective symptoms reported by people living in the vicinity of cellular phone base stations. *Med Pr* 2004; 55(4): 1345-51.
2. Park SK, Ha M, Im HJ. Ecological study on residences in the vicinity of AM radio broadcasting towers and cancer death: preliminary observations in Korea. *Int Arch Occup Environ Health* 2004; 77(6): 387-94.
3. Nikitina VN, Liashko GG, Kopytenko IuA, Ababurko LV, Smychenko VV. Occupational health evaluation of electromagnetic fields in electric trains and subway technologic areas. *Med Tr Prom Ecol* 2002; 3: 16-28.
4. Zmyslony M, Mamrot P, Politsanski P. Exposure of nurses to electromagnetic fields. *Med Pr* 2004; 55(2): 183-287.
5. Besset A, Espa F, Dauvilliers Y, Billiard M, Seze R. No effect on cognitive function from daily mobile phone use. *Bioelectromagnetics* 2005; 26(2): 102-8.
6. Kundi M, Mild K, Hardell L, Mattsson MO. Mobile telephones and cancer: a review of epidemiological evidence. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2004; 7(5): 351-84.
7. Kuster N, Schuderer J, Christ A, Futter P, Ebert S. Guidance for exposure design of human studies addressing health risk evaluations of mobile phones. *Bioelectromagnetics* 2004; 25(7): 524-9.
8. Al-Khlaiwi T, Meo SA. Association of mobile phone radiation with fatigue, headache, dizziness, tension and sleep disturbance in Saudi population. *Saudi Med J* 2004; 25(6): 732-6.
9. Crumpton MJ, Collins AR. Are environmental electromagnetic fields genotoxic? *DNA Repair* 2004; 3(10): 1385-7.
10. Kliukiene J, Tynes T, Andersen A. Follow-up of radio and telegraph operators with exposure to electromagnetic fields and risk of breast cancer. *Eur J Cancer Prev* 2003; 12(4): 301-7.
11. Levallois P. Do power frequency magnetic fields cause leukemia in children? *Am J Prev Med* 1995; 11(4): 263-7.
12. Braune S, Riedel A, Schulte-Monting J, Raczek J. Influence of radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. *Radiat Res* 2002; 158(3): 352-6.
13. Johansen C. Electromagnetic fields and health effects: epidemiologic studies of cancer, diseases of the central nervous system and arrhythmia-related heart disease. *Scand J Work Environ Health* 2004; 1: 11-30.
14. Li DK, Odouli R, Wi S, Janevic T, Golditch I, Bracken TD, Senior R, Rankin R, Iriye R. A population-based prospective cohort study of personal exposure to magnetic fields during pregnancy and the risk of miscarriage. *Epidemiology* 2002; 13(1): 9-20.
15. Hjollund NH, Skotte JH, Kolstad HA, Bonde JP. Extremely low frequency magnetic fields and fertility: a follow up study of couples planning first pregnancies. *Occup Environ Med* 1999; 56: 253-5.
16. De Vita R, Cavallo D, Raganella L, Eleuteri P, Grollino MG, Calugi A. Effects of 50 Hz magnetic fields on mouse spermatogenesis monitored by flow cytometric analysis. *Bioelectromagnetics* 1995; 16: 330-4.
17. Kowalczyk CI, Robbins L, Thomas JM, Saunders RD. Dominant lethal studies in male mice after exposure to a 50 Hz magnetic field. *Mutat Res* 1995; 328: 229-37.
18. Ilse-dore A. Comparison of the duration of spermatogenesis between male rodents and humans. *Matur J Res* 1996; 352: 169-72.
19. Wing T, Christensen K. Morphometric studies on rat seminiferous tubules. *Am J Anat* 1982; 165: 13-25.
20. Goel HC, Singh S, Adhikari JS, Rao AR. Radiomodifying effect of camphor on the spermatogonia of mice. *J Exp Med* 1985; 55(6): 219-23.
21. Wolpaw JR, Seegl RF, Dowman RL, Satya-Murti S. Chronic Effects of 60 Hz Electric and Magnetic fields on Primate Central System Function. Technical Report. New York, 1987, pp. 26-7.
22. Brent RL. Reproductive and teratologic effects of low-frequency electromagnetic fields: A review of in vivo and in vitro studies using animal models. *Teratology* 1999; 59: 261-86.
23. Robert E. Intrauterine effects of electromagnetic fields - (low frequency, midfrequency, radiofrequency and microwave): Review of epidemiologic studies. *Teratology* 1999; 59: 292-8.
24. Al-Akhras MA, Elbetieha A, Hasan MK, Al-Omari I, Darmani H, Albiss B. Effects of extremely low

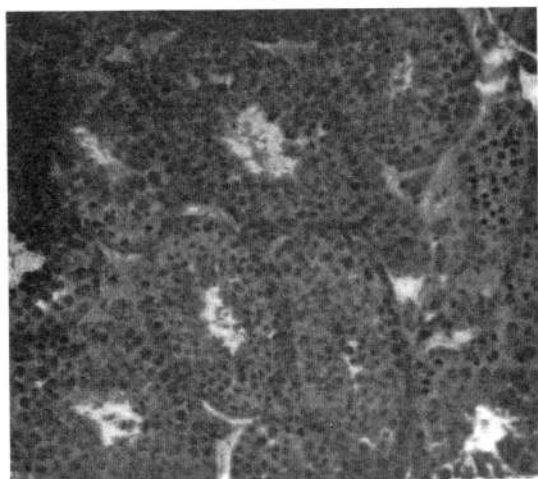
- frequency magnetic field on fertility of adult male and female rats. *Bioelectromagnetics* 2001; 22(5): 340-4.
25. Elbetieha A, AL-Akhras MA, Darmani H. Long-term exposure of male and female mice to 50 Hz magnetic field: effects on fertility. *Bioelectromagnetics* 2002; 23(2): 168-72.
 26. Blanco-Rodriguez J, Martinez-Garcia C. Apoptosis pattern elicited by several apoptogenic agents on the seminiferous epithelium of the adult rat testis. *J Androl* 1998; 19: 487-97.
 27. Xu C, Lu MG, Feng JS, Guo QS, Wang YF. Germ cell apoptosis induced by ureaplasma urealyticum infection. *Asian J Androl* 2001; 3: 199-204.
 28. Al-Akhras MA, Elbetieha A, Hasan MK, Al-Omari I, Darmani H, Albiss B. Effects of extremely low frequency magnetic field on fertility of adult male and female rats. *Bioelectromagnetics* 2001; 22: 340-4.
 29. De Vita R, Cavallo D, Raganella L, Eleuteri P, Grollino MG, Calugi A. Effects of 50 Hz magnetic fields on mouse spermatogenesis monitored by flow cytometric analysis. *Bioelectromagnetics* 1995; 16: 330-4.
 30. Kim YW, Lee JS, Jang IE, Choi YH, Kang SH, Jung KC. Effects of continuous exposure of 60 Hz magnetic fields on the mice through the third-generation. *IEEK* 2001; 28: 220-33.
 31. Negishi T, Imai S, Itabashi M, Nishimura I, Sasano T. Studies of 50 Hz circularly polarized magnetic fields of up to 350 microT on reproduction and embryo-fetal development in rats: exposure during organogenesis of during preimplantation. *Bioelectromagnetics* 2002; 23: 369-89.
 32. Grassi C, D'Ascenzo M, Torsello A, Martinotti G, Wolf F, Cittadini A, Azzena GB. Effects of 50 Hz electromagnetic fields on voltage-gated Ca²⁺ channels and their role in modulation of neuroendocrine cell proliferation and death. *Cell Calcium* 2004; 35(4): 307-15.
 33. Izmeteva OS, Parshkov EM, Zhavoronkov LP, Izmetev VI, Litovkina LV, Voronko IV. Effects of electromagnetic field of thermal intensity on the hypophysis-thyroid unit of the neuroendocrine system. *Radiats Biol Radioecol* 2003; 43(5): 597-600.
 34. Sinha Hikim AP, Rajavashisth TB, Sinha Hikim I, Lue Y, Bonavera JJ, Leung A. Significance of apoptosis in the temporal and stage-specific loss of germ cells in the adult rat after gonadotropin deprivation. *Biol Reprod* 1997; 57: 1193-201.
 35. Wilson BW, Mat KS, Morris JE, Sasser LB, Miller DL, Anderson LE. Effects of 60 Hz magnetic field exposure on the pineal and hypothalamic-pituitary-gonadal axis in the Siberian hamster. *Bioelectromagnetics* 1999; 20: 224-32.
 36. Mann K, Wagner P, Brunn G, Hassan F, Hiemke C, Roschke J. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Neuroendocrinology* 1998; 67(2): 139-44.



شکل ۱. مقطع لوله‌های اسپرم‌ساز مربوط به یک نمونه از گروه آزمون ۱. قطر داخلی در تمامی لوله‌ها در مقایسه با گروه کنترل رشد چشمگیری یافته و این موضوع سبب شده است که از ضخامت جدار لوله‌ها کاسته شود. رنگ‌آمیزی: H&E، بزرگنمایی: $\times 400$



شکل ۲. مقطع لوله‌های اسپرم‌ساز مربوط به یک نمونه از گروه آزمون ۲. توسعه فضای داخلی در این گروه نیز به خوبی مشهود است. در این نمونه در مقایسه با گروه کنترل از جمعیت سلولی جدار لوله‌ها کاسته شده است. رنگ‌آمیزی: H&E، بزرگنمایی: $\times 400$



شکل ۳. مقطع لوله‌های اسپرم‌ساز مربوط به یک نمونه از گروه کنترل. در این حالت با وجود اینکه عمل کانالیزه شدن در این لوله‌ها شکل گرفته است اما قطر داخلی آنها در مقایسه با گروه‌های آزمون کمتر است. در این گروه سلول‌های پراکنده‌ای با هسته‌های پررنگ در جدار لوله‌ها به چشم می‌خورد که بیانگر درجه بالای فعالیت تقسیم سلولی است در حالی که در گروه‌های آزمون چنین پدیده‌ای مشهود نیست. رنگ‌آمیزی: H&E، بزرگنمایی: $\times 400$

