

اثرات میدان الکترومغناطیس بر فرا ساختار مخچه رت

دکتر جعفر سلیمانی راد^۱، عذرا الله ویسی^۲، دکتر امیر افشین خاکی^۳

۱- PhD بافت شناسی و جنین شناسی، مدیر گروه علوم تشریح دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز

۲- کارشناس ارشد بافت شناسی، مرکز مطالعات و توسعه آموزش پزشکی (EDC) دانشگاه علوم پزشکی کردستان (مؤلف مسئول) Allavaisie@yahoo.co.uk

۳- PhD آناتومی عضو هیئت علمی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز

چکیده

زمینه و هدف: قرار گرفتن در معرض میدان‌های الکترومغناطیس (EMF) با شدت پائین به مدت طولانی به عنوان یک عامل بالقوه خطرناک برای سیستم‌های بیولوژیک شناخته شده‌اند. درباره اثرات EMF بر سلامت انسان نظرات مختلفی وجود دارد. مطالعات اپیدمیولوژیکی و آزمایشگاهی حیوانی، اثرات زیان‌آور میدان‌های الکترومغناطیس را بر سیستم‌های بیولوژیک از جمله سیستم عصبی - مرکزی نشان داده است. مطالعات قبلی با میکروسکوپ نوری بیانگر اثرات زیان‌آور میدان بر تغییرات مورفولوژیک در مخچه بوده است. هدف ما در این بررسی مطالعه اثرات میدان‌های الکترومغناطیس بر فرا ساختمان مخچه رت بود.

روش بررسی: در این بررسی ۳۰ سر رت نژاد wistar به عنوان مدل آزمایشگاهی انتخاب گردیدند و به دو گروه مساوی آزمایش و کنترل تقسیم شدند. رت‌های گروه آزمایش به مدت ۴ ماه روزانه ۴ ساعت در معرض میدان الکترومغناطیس با شدت ۳ میلی تسلا قرار گرفتند. پس از اتمام این مدت حیوانات گروه آزمایش و کنترل کشته شدند و نمونه‌هایی از مخچه جهت مطالعه با میکروسکوپ الکترونی آماده شدند و بافت آنها مورد بررسی قرار گرفت، بررسی کمی و تعداد سلولها در دو گروه کنترل و آزمایش با استفاده از نرم افزار آماری SPSS و آزمون t - test مورد آنالیز آماری قرار گرفت. سطح $p < 0.05$ معنی دار در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: نتایج بدست آمده نشان داد که سلول‌های پورکنز مخچه در گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل کوچکتر می‌باشند و تعداد آنها بطور معنی داری ($p < 0.01$) در گروه آزمایش کاهش یافته است. از دیگر یافته‌های این پژوهش کوچک و متراکم شدن هسته، دیلاته شدن شبکه آندوپلاسمی، واکوتله شدن سیتوپلاسم، پارگی و از بین رفتن کریستاها در میتوکندریهای سلولهای پورکنز مخچه بود.

نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق حاضر نشان داد که قرارگیری دراز مدت در معرض EMF سبب ایجاد تغییرات تخریبی در مخچه می‌شود.

کلید واژه‌ها: میدان الکترومغناطیس، مخچه، سلول پورکنز

وصول مقاله: ۸۵/۳/۱۱ اصلاح نهایی: ۸۵/۷/۲۵ پذیرش مقاله: ۸۵/۷/۳۰

مقدمه

دارد. قرار گرفتن در معرض میدان‌های الکترومغناطیس (EMF) با شدت پائین به مدت طولانی به عنوان یک عامل بالقوه خطرناک برای سیستم‌های بیولوژیک شناخته شده‌اند. در ۲۰ سال گذشته هزاران

انسان امروزی به طور ناخواسته در معرض میدان الکترومغناطیس (EMF)^۱ ناشی از لوازم خانگی، تجهیزات پزشکی و دستگاههای مولد قرار

1. Electromagnetic Field

متراکم و دارای هسته‌های پیکنوتیک می‌گردند و تعداد این سلول‌ها کاهش یافته و فواصل بین آنها نیز بیشتر به نظر می‌رسد (۶). هدف ما در این بررسی مطالعه اثرات میدان‌های الکترومغناطیس بر فرا ساختمان سلول‌های مخچه و مطالعه تغییرات ارگانلهای سلولی ناشی از قرار گیری در معرض میدان الکترومغناطیس بود.

روش بررسی

برای انجام این بررسی از دستگاه مولد میدان الکترومغناطیس که در بخش بافت شناسی طراحی و ساخته شده بود استفاده گردید. دستگاه مولد میدان براساس تئوری پیچه هلمهوتز ساخته شد که در رابطه با این انتخاب، مواردی از قبیل نیاز به دستیابی به یک میدان یکنواخت و با شدت معین و نیز محدودیت‌های مختلف همچون لزوم تهیه محل نسبتاً مناسبی برای زیست رت‌ها در داخل دستگاه از امور تعیین کننده بود. با توجه به شدت جریان مصرفی مولد و مدت زمان طولانی استفاده از آن در طی روز برای جلوگیری از گرم شدن دستگاه و تهویه مناسب داخل آن از فن (پنکه) که در بالای دستگاه نصب گردیده استفاده می‌شد. به طور کلی دستگاه مولد، شامل دو سیم پیچ در جهت مخالف هم می‌باشد که میدان یکنواختی را در مرکز دستگاه که محل قرارگیری حیوانات می‌باشد ایجاد می‌نماید برای تولید EMF از جریان متناوب ۵۰ HZ استفاده می‌شد.

جمعیت مورد مطالعه در این بررسی موش‌های رت نژاد (Wistar) بودند که در حیوانخانه بخش بافت شناسی دانشکده پزشکی پرورش داده شده‌اند که بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ gr وزن و ۵ هفته سن داشتند. رت‌ها به دو گروه آزمایش و کنترل تقسیم شده و در هر گروه ۱۵ رت تحت مطالعه قرار گرفتند.

آزمایش برای بررسی خطر ابتلاء به سرطان ناشی از قرار گرفتن در معرض میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس پائین انجام شده که در مورد فرکانس‌ها با جریانهای الکتریکی ۵۰-۶۰ HZ بوده است (۱). مطالعات اپیدمیولوژیک نیز نشان می‌دهند که میدان‌هایی با جریان ۶۰ HZ و شدت بیشتر از ۲ میلی تسلا در محیط زندگی و کار، ریسک ابتلاء به سرطان را افزایش می‌دهند (۲). نتایج حاصله از بررسی‌های *invivo* و *invitro* نیز ضد و نقیض می‌باشند (۳). گزارش‌هایی از سر درد، کاهش حافظه، افسردگی، احساس ناراحتی، داغی پنهان یا آشکار اطراف گوش و اشکال در تمرکز در حین استفاده از تلفن‌های همراه ارائه شده که اینها ناشی از اثرات EMF این تلفن‌ها می‌باشد (۴). مطالعاتی که بوسیله Lai و همکارانش صورت گرفته نشان داده است که بین نقض (کاهش) حافظه و یادگیری در جوندگانی که در معرض EMF قرار دارند رابطه وجود دارد (۵).

اثرات میدان‌های الکترومغناطیس بر سیستم‌های بیولوژیک به طور نسبتاً گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته ولی بعلاوه نتایج حاصله و مشخص نبودن مکانیسم اثر این میدان‌ها بررسی در این زمینه هنوز به طور فعال ادامه دارد. با توجه به استفاده روز افزون از وسایل الکتریکی که مولد میدان‌های الکترومغناطیس هستند، بررسی همه جانبه در مورد اثرهای آنها بر سیستم‌های بیولوژیک ضروری است. علیرغم اینکه کارهای متعددی در زمینه اثرات EMF انجام گرفته است و اثرات میدان الکترومغناطیس بر CNS^۱ قبلاً با استفاده از میکروسکوپ نوری بررسی شد و مشخص گردید که تحت تأثیر میدان الکترومغناطیس ضخامت لایه مولکولر در مخچه کم شده، سلول‌های پورکنز کوچک و

1 . Central nervous system

آبگیری (Dehydration) از اتانول با درجات صعودی استفاده شد، در مرحله جایگزینی ابتدا از مخلوط اتانول ۱۰۰ درصد با پروپیلین اکساید به نسبت مساوی و سپس از پروپیلین اکساید خالص در زیر هود استفاده گردید در مرحله آغشته سازی (infiltration) در ابتدا از مخلوط پروپیلین اکساید و رزین و سپس در مرحله آخر از رزین خالص استفاده شد. جهت قالب گیری (Embeding) از رزین خالص به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد در داخل اون استفاده شد پس از آن اصلاح و تریم (Trimming) بلوکها انجام و سپس برش نیم نازک ۰/۵ میکرون با استفاده از اولترامیکروتوم و تیغ شیشه‌ای داده شد. رنگ آمیزی با تولوئیدین بلو و مطالعه با میکروسکوپ نوری انجام گردید، جهت مطالعه با میکروسکوپ الکترونی مجدداً اصلاح و تریم انجام شد و برش نازک ۶۰ نانومتری با استفاده از اولترامیکروتوم و تیغ الماسه صورت گرفت. برش‌های نازک با یورانیل استات و سترات سرب رنگ آمیزی شدند. برای بررسی کمی و تعداد سلولها، تعداد سلولها در ۱۰ میدان از هر مقطع شمارش و پس از تعیین میانگین تعداد سلولها در دو گروه کنترل و آزمایش با استفاده از SPSS و آزمون t-test مورد آنالیز آماری قرار گرفت. بررسی مورفومتریک هم با اندازه گیری اقطار هسته با احتساب حداقل ۱۰ مورد در هر نمونه گروه کنترل و آزمایش استفاده شد و پس از تعیین میانگین، پارامترهای فوق با استفاده از t-test مورد آنالیز آماری قرار گرفتند و $p < 0.05$ معنی دار در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

یافته‌های ما نشان داد که در مخچه تحت تأثیر میدان الکترومغناطیس، اندازه سلول‌های پورکنز نسبت به

گروه آزمایش: در این گروه رت‌ها روزانه ۴ ساعت و برای مدت ۴ ماه، تحت تأثیر میدان الکترومغناطیس به شدت ۳ mT قرار گرفتند.

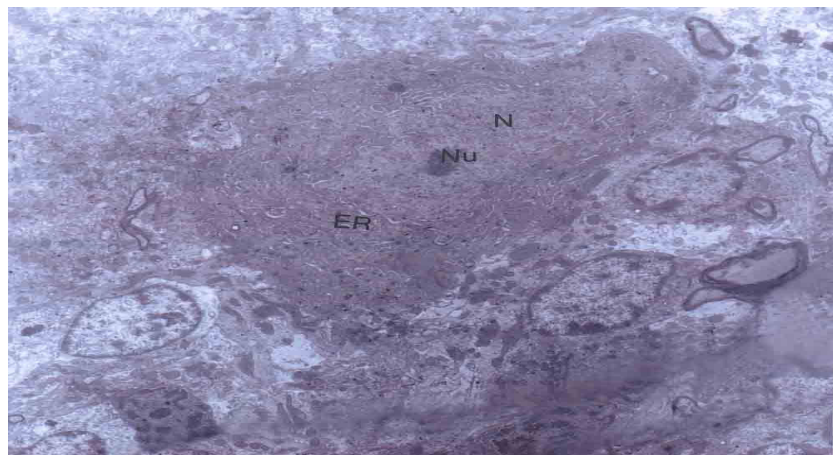
گروه کنترل: شرایط زیست و تغذیه در این گروه کاملاً مشابه با گروه آزمایش بود و فقط تحت تأثیر میدان الکترومغناطیس قرار نمی‌گرفتند. لازم به ذکر است زمان قرارگیری رت‌های تحت تأثیر میدان الکترومغناطیس از اول شهریور ماه ۸۲ تا پایان آذر ماه ۸۲ در حیوانخانه بخش بافت شناسی دانشکده پزشکی تبریز بود و سایر مراحل عملی تا تاریخ مهر ماه ۸۳ در مرکز تحقیقات علوم دارویی دانشگاه علوم پزشکی تبریز ادامه داشت.

هر دو گروه پس از اتمام مدت ۴ ماه با استفاده از کلروفورم بیهوش و پس از انفوزیون پارافرمالدئید به داخل بطن چپ و متوقف شدن ضربانات قلب، اقدام به جدا کردن سر و جمجمه کرده سپس جمجمه رت را با استفاده از تیغه اسکالپل و قیچی یک شکاف طولی در امتداد درز سائیتال و نیز شکاف عرضی در امتداد درز کروئال در قاعده جمجمه ایجاد نموده با برداشتن دیواره جمجمه و ایجاد یک برش عرضی در ناحیه بصل النخاع آن را از نخاع جدا و با دقت فراوان مخچه را به طور یکپارچه و کامل از حفره جمجمه خارج کرده و آن را در داخل بافر فسفات ۰/۱ مولار شستشو داده پس از تشریح از بافت مورد مطالعه نمونه برداری شد و در بافر فسفات ۰/۱ مولار به قطعاتی به ابعاد $1 \times 1 \times 1$ میلی‌متر برش داده می‌شد و مراحل آماده سازی بافتی جهت مطالعه با میکروسکوپ الکترونی انجام گردید. برای ثبوت بافت‌ها از روش ثابت سازی مضاعف شامل استفاده از محلول گلو تار آلدئید و پارافرمالدئید بافر شده و سپس ثابت سازی ثانویه با تتراکسیداسمیوم بافر شده صورت گرفت. برای مرحله

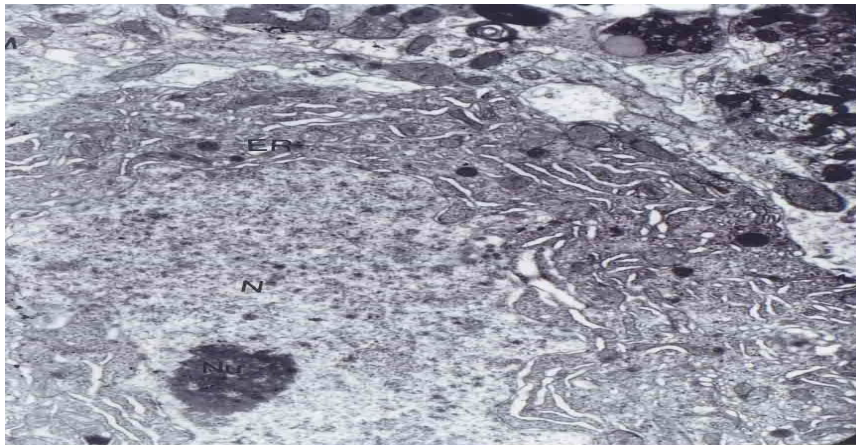
می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود. سلول دارای هسته هتروکرماتیک و هستک متراکمتر و کوچکتر می‌باشد و در سیتوپلاسم نیز شبکه آندوپلاسمی دیلاته و واکوئله دیده می‌شود. در شکل (۵) میتوکندریهای فراوان قابل مشاهده‌اند. با درشت‌نمایی بیشتر در شکل (۶) کریستاهای میتوکندریایی دیده می‌شود که در مقایسه با گروه کنترل نامنظم و مبهم می‌باشند. به طوریکه ملاحظه می‌گردد، میتوکندریها کوچک و دارای کریستاهای تحلیل‌رفته می‌باشند و واکوئل‌های توخالی متعددی در سیتوپلاسم سلول دیده می‌شود و به نظر می‌آید میتوکندریهای دژنره شده باشند. اندازه‌گیری اقطار کوچک و بزرگ هسته در میکروگراف‌های الکترونی نشان داد که میانگین قطر هسته در سلول‌های پورکنژ مخچه گروه کنترل $22/85 \pm 45/35$ mm و در گروه آزمایش $16/36 \pm 26/79$ mm بود که تفاوت بین دو گروه معنی‌دار بود ($p=0/03$) تناسب بین اقطار بزرگ و کوچک هسته برای تعیین Axial Ratio نشان داد که نسبت اقطار در هسته سلول‌های پورکنژ گروه کنترل $1/86 \pm 0/41$ mm و در هسته سلول‌های پورکنژ گروه آزمایش $1/55 \pm 0/14$ mm بود که تفاوت بین دو گروه معنی‌دار بود ($p=0/02$).

مخچه کنترل، کاهش یافته است و تعداد آنها بطور معنی‌داری ($p<0/01$) در گروه آزمایش کاهش یافته است. از دیگر یافته‌های مطالعه، هتروکروماتین هسته، دیلاته شدن شبکه آندوپلاسمی، واکوئله شدن سیتوپلاسم، پارگی و از بین رفتن کریستاهای میتوکندریهای سلول‌های عصبی مخچه گروه آزمایش بود که به وضوح دیده می‌شد.

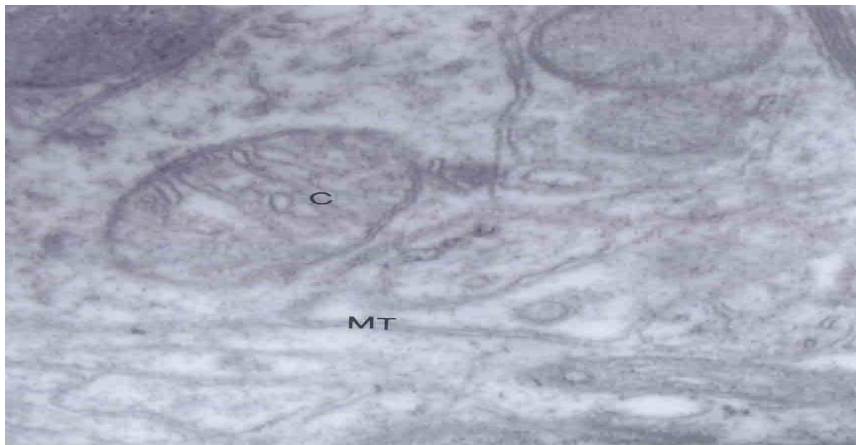
شکل (۱): الکترون میکروگراف از یک سلول پورکنژ را در گروه کنترل نشان می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود سلول پورکنژ دارای هسته‌ای روشن و مشخص و هستک برجسته و واضح می‌باشد سیتوپلاسم نیز دارای شبکه آندوپلاسمی وسیع و میتوکندریهای فراوان می‌باشد با درشت‌نمایی بزرگتر در شکل (۲) شبکه آندوپلاسمی گسترده، میتوکندریها، کروماتین هسته واضح‌تر دیده می‌شوند. در شکل (۳) میتوکندریها را در گروه کنترل با درشت‌نمایی بیشتر نشان می‌دهد به طوریکه ملاحظه می‌گردد کریستاهای میتوکندری به طور منظم دیده می‌شوند و ماتریکس سلولی حاوی میکروتوبول‌ها می‌باشد. شکل (۴): الکترون میکروگرافی از یک سلول پورکنژ را در گروه آزمایش را نشان



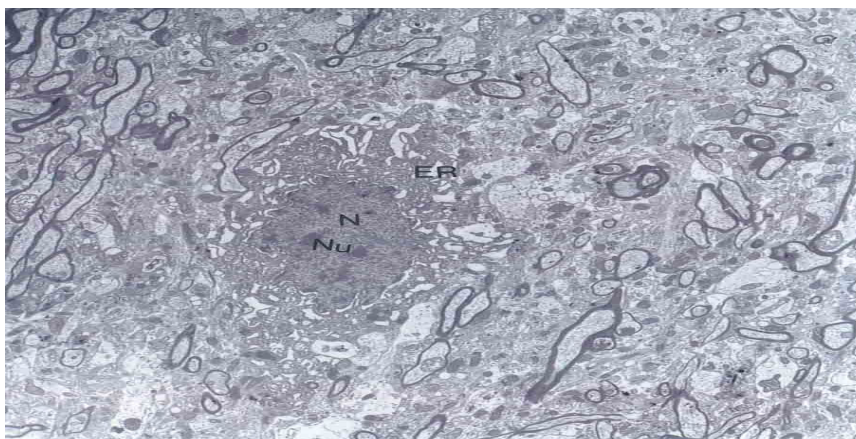
شکل ۱: الکترون میکروگرافی از یک سلول پورکنژ در رت گروه کنترل. هسته (N) و هستک (Nu) و شبکه آندوپلاسمی (ER) در تصویر دیده می‌شود. بزرگنمایی ۲۱۵۰ برابر



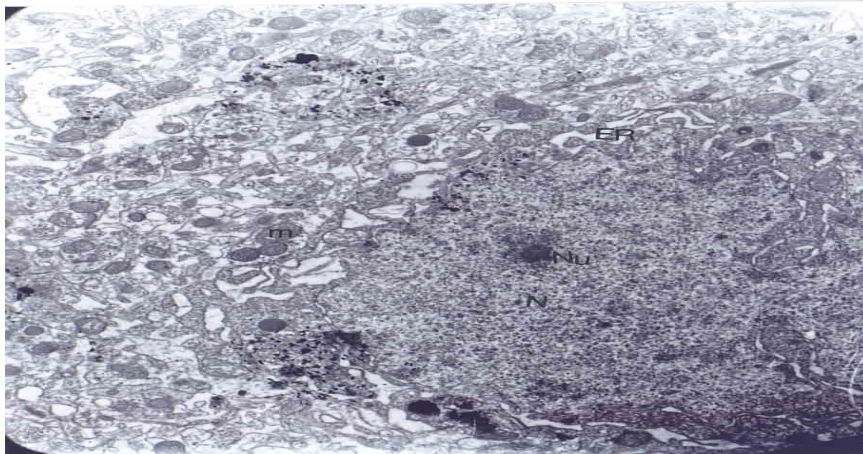
شکل ۲: الکترون میکروگرافی از یک سلول پورکنژ در رت گروه کنترل. با درشت نمایی بزرگتر. هسته (N)، هستک (Nu)، شبکه آندوپلاسمی (ER)، میتوکندریها (M) در تصویر دیده می‌شوند. بزرگنمایی ۶۰۰۰ برابر



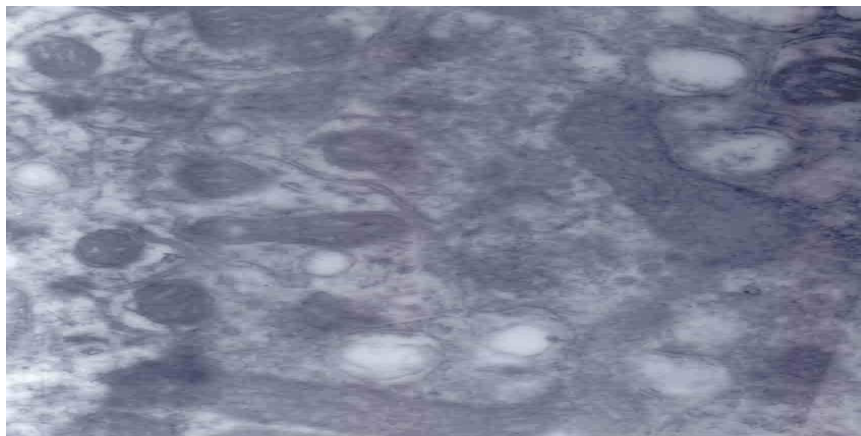
شکل ۳: الکترون میکروگرافی از میتوکندریهای مخچه در رت گروه کنترل. کریستاها (C) و میکروتوبولها (MT) در تصویر واضح دیده می‌شوند. بزرگنمایی ۲۷۰۰۰ برابر



شکل ۴: الکترون میکروگرافی از یک سلول پورکنژ در رت گروه آزمایش. شبکه آندوپلاسمی (ER) دیلاته، هسته (N) و هستک (Nu) در تصویر دیده می‌شود. بزرگنمایی ۲۷۰۴ برابر



شکل ۵: الکترون میکروگرافی از سلول پورکنز در رت گروه آزمایش. شبکه آندوپلاسمی (ER) دیلاته، هسته (N)، هستک (Nu)، میتوکندریها (m) واضح در تصویر دیده می شوند. بزرگنمایی ۶۰۰۰ برابر



شکل ۶: الکترون میکروگرافی از میتوکندریهای مخچه در رت گروه آزمایش در کریستاهای میتوکندریها نامنظم و تحلیل دیره و واکوئل های توخالی متعدد در سیتوپلاسم سلول میتوکندریهای دژنره شده می باشند که در تصویر دیده می شوند. بزرگنمایی ۲۷۰۰۰ برابر

بحث

میکروسکوپ نوری و هم بررسی با TEM بیانگر آن بود. در تائید بیشتر این یافته‌ها، بررسی مورفومتریک نشان داد که میانگین قطر هسته و Axial Ratio هسته در گروه آزمایش کاهش یافته است. همه این تغییرات می تواند نشان دهنده کاهش فعالیت متابولیکی سلولها تحت تأثیر EMF باشد در حمایت از این یافته

یافته‌های بررسی حاضر نشان داد که در مخچه تحت تأثیر میدان الکترومغناطیس اندازه سلول‌های پورکنز نسبت به مخچه کنترل کاهش یافته است که این کاهش اندازه، می‌تواند ناشی از کاهش فعالیت هسته و در نتیجه کاهش فعالیت سلول باشد. از دیگر یافته‌های این بررسی، هتروکروماتیک و کوچک شدن هسته سلول‌های پورکنز مخچه بود که هم بررسی با

کلیه در رت‌هایی که بمدت ۵۲ روز و روزی ۱ ساعت در معرض میدان با فرکانس پائین (۹۴۵۰MHZ) قرار گرفتند در بررسی با میکروسکوپ نوری واکونلیزاسیون اپتیلیوم توپول‌های کلیه در ناحیه رأسی و نیز تغییرات دژنراتیو در گلمرولهای کلیه را نشان داد و در بررسی با میکروسکوپ الکترونی هم تورم ارگانل‌های غشاء در میتوکندری و شبکه آندوپلاسمی دیده شد (۱۴).

از دیگر یافته‌های این بررسی بر روی مخچه، کاهش معنی‌دار تعداد سلول‌های پورکنز تحت تأثیر EMF بود که می‌تواند بعلت تأثیرات میدان بر مرگ برنامه‌ریزی شده سلول و آپوپتوز باشد (۱۷-۱۵) نشان داده شده که EMF بر فرآیندهای مهاجرت سلولی و تمایز در کورتکس مخچه در حال تکامل اثرات غیر قابل برگشتی دارد (۱۸). به طور کلی بررسی‌های ما نشان داد میدان‌های الکترومغناطیس با قدرت ۳ میلی تسلا در طولانی مدت بر سلول‌های مخچه باعث تغییراتی به صورت زیر می‌گردد:

هتروکروماتیک شدن هسته سلول‌ها، دیلاته شدن ارگانل‌های غشاءدار (میتوکندری و ریتکولوم اندوپلاسمیک) و کاهش تعداد و اندازه سلول‌های پورکنز می‌شود. در مورد مکانسیم اثر EMF عقیده بر این است که میدان‌ها بیشترین اثر خود را از طریق افزایش موضعی درجه حرارت و یا پیدایش رادیکال‌های آزاد اعمال می‌کنند، در تائید این مسئله کوچک شدن هسته در اریتروسیت‌های موش بدنبال افزایش درجه حرارت بدن گزارش شده است (۱۹). اینکه رادیکال‌های آزاد باعث شکستن پیوندهای هیدروژنی می‌شوند نیز ثابت شده است (۱۹). مشخص شده که با افزودن ویتامین E به سلول‌های گانگلیونی شبکیه در محیط

بررسی‌های متعدد نشان داده‌اند که EMF می‌تواند بر روی ژنوم سلول تاثیر بگذارد (۷-۹)، و موجب کاهش ترمیم DNA و یا آپوپتوز شود (۷). همچنین نشان داده شده که EMF باعث کراس لینک prot-DNA، پروتئین - پروتئین و باعث افزایش آپوپتوز و نکروز سلول‌های مغزی می‌شود (۸،۹) با این وجود در بررسی حاضر سلول‌های آپوپتوتیک واضح مشاهده نشدند. بررسی‌های فراساختاری انجام شده در پروستات هم بیانگر تغییرات هسته به صورت پیدایش اشکال نامنظم در پروستات رت‌های تحت تأثیر میدان الکترومغناطیس با شدت ۳ میلی تسلا بوده است (۱۰).

همچنین EMF بر روی غشاء سلول اثر می‌گذارد و با تأثیر بر روی گلیکو پروتئین‌ها بر فرآیندهای داخل سلولی از جمله عملکرد آنزیم‌های داخل سلولی، سایتو اسکلت و هسته سلول اثر می‌گذارد (۱۱). در تائید این یافته نشان داده شده که محتویات نروترانسمیترها از جمله گابا GABA در سلول‌های پورکنز تحت تأثیر میدان الکترومغناطیس کاهش می‌یابد (۱۲). همچنین گزارش شده در رت‌هایی که تحت تأثیر میدان با قدرت 30 Mw/cm^2 بوده‌اند آسیب به میتوکندری‌های کورتکس مغز ایجاد شده باعث تغییر در فاکتور A ترانسکریپتاسیون میتوکندریال (MT TFA) mRNA می‌شود فاکتور A ترانسکریپتاسیون میتوکندریال، متابولسم انرژی میتوکندریال را تنظیم می‌کند (۱۳). از دیگر یافته‌های بررسی حاضر تغییرات در ارگانل‌هایی مانند میتوکندری و شبکه آندوپلاسمی بود که دیلاته شدن شبکه آندوپلاسمی و نامنظم و مبهم بودن کریستاهای میتوکندری از جمله این تغییرات بود. تغییرات ارگانل‌ها ممکن است ناشی از تأثیر سوء میدان بر روی غشاء آنها باشد. با بررسی مشابه بر روی ساختمان

گفت که اثرات میدان‌های الکترومغناطیس بر موجودات زنده از طریق اثر آنها بر سلول‌ها و ارگانل‌های سلولی اعمال می‌گردد. بنابراین آزار سلولی مبنای اثرات زیان‌آور میدان‌های الکترومغناطیس را تشکیل می‌دهد. نکته قابل توجه دیگر اینکه، براساس یافته‌های قبلی و نتایج بدست آمده از بررسی حاضر می‌توان نتیجه گرفت که اثرات سوء میدان‌های الکترومغناطیس بر سلول‌ها و ارگانل‌ها با اثرات ملکولی میدان از طریق ایجاد حرارت موضعی و یا ایجاد رادیکال‌های آزاد توجیه پذیر می‌باشد.

کشت تحت تأثیر میدان، تورم میتوکندریها کاهش می‌یابد و کریستاها واضح دیده می‌شوند (۲۰).

نتیجه‌گیری

به طور کلی مطالعه حاضر نشان داد میدان‌های الکترومغناطیس با قدرت ۳ میلی تسلا در طولانی مدت بر سلولهای مخیچه باعث تغییراتی به صورت زیر می‌گردد:

هتروکروماتیک شدن هسته سلول‌ها، دیلاته شدن ارگانل‌های غشاءدار (میتوکندری و رتی‌کولوم اندوپلاسمیک) و کاهش تعداد و اندازه سلول‌های پورکنز با توجه به نتایج حاصله از بررسی حاضر می‌توان

References

1. Veyret Bernard. Review of Animal studies. 2003; [11 screens], Available at: <http://www.enscpb.fr/piom/Activatepiom>. Accessed January, 2004.
2. RF radiation and electromagnetic field safety. 2002; [7 screens]. Available at: <http://www.arrl.org>. Accessed may, 2003.
3. Löscher W, Liburdy RP. Animal and cellular studies on carcinogen effects of low frequency (50/60-Hz) magnetic fields. Mutation Research 1998; 410: 185-220.
4. Edelstyn, Nicola, Oldershow, Anna. The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. J Neuroreport 2002; 13(1): 119-21.
5. Wang BM, Lai W. Acute exposure to pulsed 2450 MHz microwave affects water – Maz performance of rats. Bioelectromagnetics. 2000; 21:52-6.
6. سلیمانی‌راد ج، فتاح دماوندی م ر. بررسی اثرات میدان الکترومغناطیس بر رشد و تکامل جنین رت و چگونگی مهار آن با اپی‌نفرین. مجله پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز، سال ۳۱، شماره ۳۳، ۱۳۷۶، صفحه: ۶۸-۶۲.
7. Bellavite P, Signorini A. Biological effects of electromagnetic fields, Schulte J, Endler PC, in: Fundamental research in ultra-high dilution and homeopathy. Kluwer Acad: Nether lands 2003: 127-42.
8. Lai H. Genetic effects of nonionizing electromagnetic fields. International workshop on biological effects of ionizing radiation, electromagnetic fields and chemical toxic agent, insinaia, Romania, October 2-6, 2001.
9. Lai H, Singh NP: Magnetic-field induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. Environ Health Perspect 2004; 112(6): 687-94.
۱۰. شیرزادی پ، سلیمانی‌راد ج: تأثیر میدان الکترومغناطیس بر فراساختمان ارگانل‌های تولیدکننده مایع منی (غده پروستات، کیسه منی، مجرای اپیدیدیم). پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد علوم تشریح (بافت شناسی). دانشگاه علوم پزشکی تبریز، ۱۳۸۱.
11. Adey WR. Physiology signaling across cell membranes and cooperative influences of extremely frequency EMF, biological coherence and response to external stimuli. Bioelectromagnetics 1998; 15: 148-70.

12. Mausset A, Deseze R, Motpeyroux F, Privat A. Effects of radio frequency exposure on the GABAergic system in the rat cerebellum: Clues from semi-quantitative immuno histochemistry. *Brain Res* 2001; 912(1): 33- 46.
13. Xie Y, Jiang HH, Zhang GB, Yu JH. Effect of microwave irradiation on neurocyte mitochondrial ultrastructure and mtTFA mRNA expression in rats cerebral cortex and hippocampus. *J Bioelectricity* 2004; 22(2): 104-7.
14. Nergiz Y, Ketani A, Akdag Z, Resitersay A, Celik S. Effect of low-intensity microwave Radiation on rat kidney: An ultrastructural study. *Turk J Medsci*, 2000; 30: 223-27.
15. Murphy E. Ion changes in apoptosis. 2003; [4 screens]. Available at: <http://www.niehs.nih.gov/emf/rapid/intramurabs/Murphy/html>. Accessed October 13, 2004.
16. Fanelli C, Coppola S, Barone R, Gualandi G, Volpe P. Magnetic fields increase cell survival by inhibiting apoptosis via modulation of Ca^{+2} influx. *Mutation Research* 1999; 13: 95-102.
17. Li Qingyu, Wong S. Radiation-induced apoptosis in the neonatal and adult rat spinal cord. *Radiation* 2000, 154(3): 268-76.
18. Wu Y, Jiay, Guo Y, Zheng Z. Influence of EMF on the nervous system of rats. *ACTA Biophysica Sinica* 1999; 15: 152-57.
19. Asanami S, Shimono K. High body temperature induces micronuclei in mouse bone marrow. *Mutation Research* 1997; 390 (1-2): 79-83.
20. Yang R, Chan J, Deng z, Liux. Effect of vitamin E on morphological variation of retinal ganglion cells after microwave radiation *WeishengYan Jiu* 2001; 30(1): 31-33.