مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان/ دوره یازدهم/ پائیز ۱۳۸۵/ ۹-۱

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 جنین‌شناسی، 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 ـ 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 وآزمون t - test مورد آنالیز آماری قرار گرفت. سطح $p<۰/۰۵$ معنی‌دار در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: نتایج بدست آمده نشان داد که سلول‌های پورکنژ مخچه در گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل کوچکتر می‌باشند و تعداد آنها بطور معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) در گروه آزمایش کاهش یافته است. از دیگر یافته‌های این پژوهش کوچک و متراکم شدن هسته، دیلاته شدن شبکهٔ آندوپلاسمی، واکوئله شدن سیتوپلاسم، پارگی و از بین‌رفتن کریستاها در میتوکندریهای سلولهای پورکنژ 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 پورکنژ

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

مقدمه

انسان امروزی به طور ناخواسته در معرض میدان الکترومغناطیس (EMF)[1] ناشی از لوازم خانگی،تجهیزات پزشکی و دستگاههای مولد قرار 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

1. Electromagnetic Field

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-10-30]

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 ۵۰ـ۶۰HZ بوده است (۱). مطالعات اپیدمیولوژیک نیز نشان می‌دهند که میدان‌هایی با جریان ۶۰HZ 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 بعلت قطعی نبودن 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[1] قبلا با استفاده از میکروسکوپ نوری بررسی شد و مشخص گردید که تحت تأثیر میدان الکترومغناطیس ضخامت لایهٔ مولکولر در مخچه کم شده، سلول‌های پورکنژ کوچک و 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 تعیین‌کننده 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 حیوانخانهٔ بخش بافت شناسی دانشکده پزشکی پرورش داده شده‌اند که بین ۱۵۰ تا ۲۰۰gr 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.

1 . Central nervous system

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-10-30]

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 داروئی دانشگاه علوم پزشکی تبریز ادامه داشت.

هر دو گروه پس از اتمام مدت ۴ ماه با استفاده از کلروفرم 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 ساژیتال و نیز شکاف عرضی در امتداد درز کرونال در قاعدهٔ 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 ۱×۱×۱ 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 گلوتارآلدئید و پارافرمالدئید بافر شده و سپس ثابت سازی ثانویه با تتراکسیداسمیوم بافرشده صورت گرفت. برای مرحله آبگیری (Dehydration) از اتانول با درجات صعودی استفاده شد، در مرحله جایگزینی ابتدا از مخلوط اتانول ۱۰۰ درصد باپروپیلین 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 قالب‌گیری (Embeding) از رزین خالص به مدت ۲۴ساعت 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. رنگ‌آمیزی با تولوئیدین بلو و مطالعه با میکروسکوپ نوری انجام گردید، جهت مطالعه با میکروسکوپ الکترونی مجدداً اصلاح وتریم انجام شد و برش نازک ۶۰ نانومتری با استفاده از اولترامیکروتوم و تیغ الماسه صورت گرفت. برش‌های نازک با یورانیل استات و سیترات سرب رنگ‌آمیزی 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 وآزمایش با استفاده از SPSS و آزمون t-test مورد آنالیز آماری قرار گرفت. بررسی مورفومتریک هم با اندازه‌گیری 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 $p<۰/۰۵$ معنی‌دار در نظر گرفته شد.

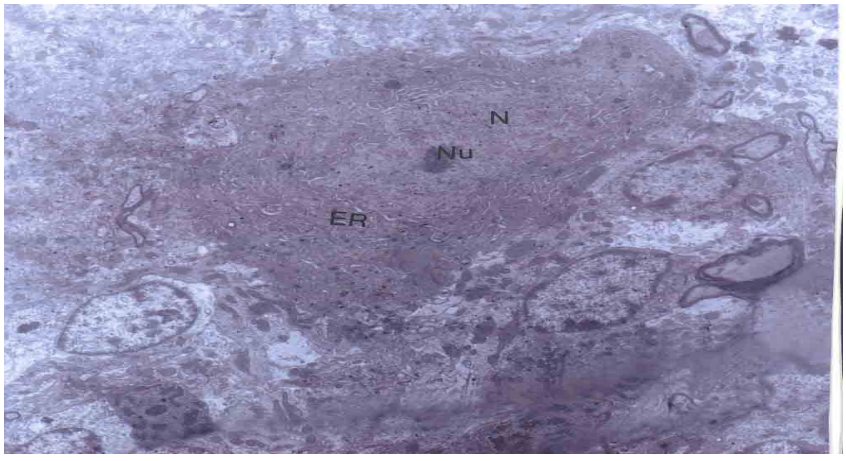
یافته‌ها

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

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-10-30]

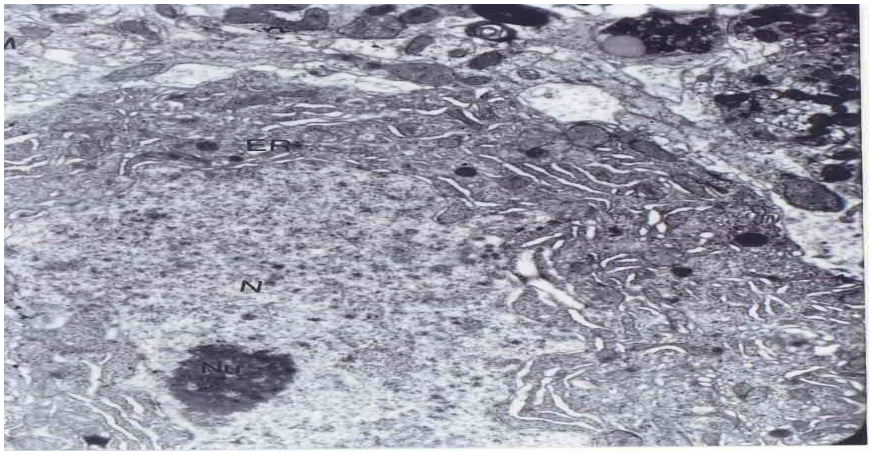
مخچه کنترل، کاهش یافته است و تعداد آنها بطور معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) در گروه آزمایش کاهش یافته است. از دیگر یافته‌های مطالعه، هتروکروماتین هسته، دیلاته شدن شبکهٔ آندوپلاسمی، واکوئله شدن سیتوپلاسم، پارگی و از بین‌رفتن کریستاها در میتوکندریهای سلولهای عصبی مخچه گروه آزمایش بود که به وضوح دیده می‌شد.

شکل (۱): الکترون میگروگراف از یک سلول پورکنژ را در گروه کنترل نشان می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود سلول پورکنژ دارای هسته‌ای روشن و مشخص و هستک بر جسته و واضح می‌باشد سیتوپلاسم نیز دارای شبکه آندوپلاسمی وسیع و میتوکندریهای فراوان می‌باشد با درشت نمایی بزرگتر در شکل (۲) شبکه آندوپلاسمی گسترده، میتوکندریها، کروماتین هسته واضح‌تر دیده می‌شوند. در شکل (۳) میتوکندریها را در گروه کنترل با درشت نمایی 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 می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود. سلول دارای هستهٔ هتروکرماتیک و هستک مترا کمتر و کوچکتر می‌باشد و در ستیوپلاسم نیز شبکه آندوپلاسمی دیلاته و واکوئله دیده می‌شود. در شکل (۵) میتوکندریهای فراوان قابل مشاهده‌اند. با درشت نمایی 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 تحلیل رفته 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 $۴۵/۳۵ \pm ۲۲/۸۵$mm و در گروه آزمایش $۲۶/۷۹ \pm ۱۶/۳۶$mm بود که تفاوت بین دو گروه معنی‌دار بود ($p=۰/۰۳$) تناسب بین اقطار بزرگ و کوچک هسته برای تعیین Axial Ratio نشان داد که نسبت اقطار در هسته سلول‌های پورکنژ گروه کنترل $۱/۸۶ \pm ۰/۴۱$ mm و در هسته سلول‌های پورکنژ گروه آزمایش $۱/۵۵ \pm ۰/۱۴$ mm بود که تفاوت بین دو گروه معنی‌دار بود ($p=۰/۰۲$).

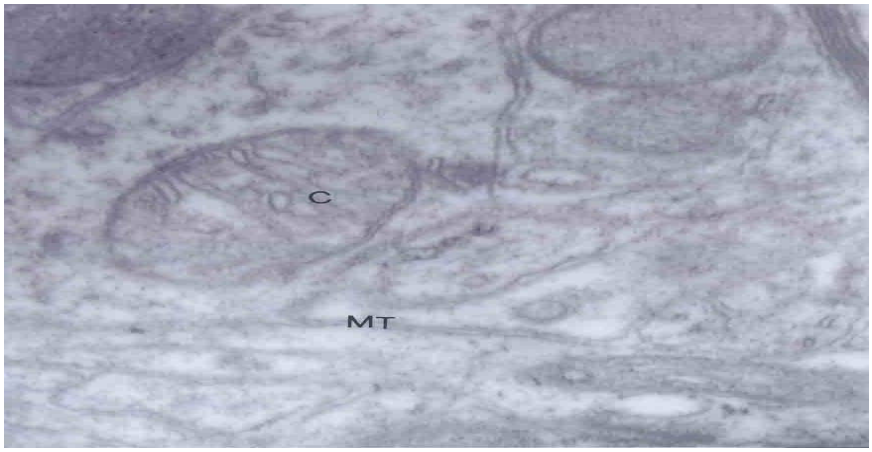


شکل ۱: الکترون میکروگرافی از یک سلول پورکنژ در رت گروه کنترل. هسته (N) و هستک (Nu) و شبکهٔ آندوپلاسمی (ER) در تصویر دیده می‌شود. بزرگنمایی ۲۱۵۰ برابر

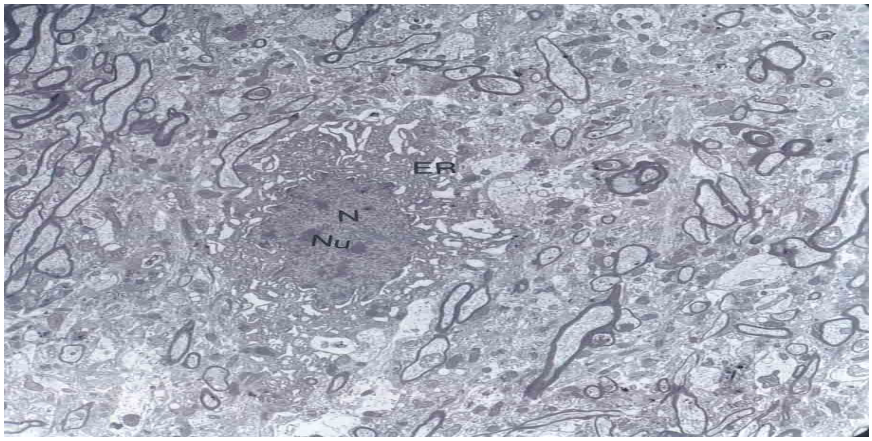
[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-10-30]



شـکل ۲: الکتـــرون میکـــروگـرافی از یک سلول پورکنژ در رت گـــروه کنترل. با درشت نمایی بزرگتر. هسته (N)، هستک (Nu)، شبکهٔ آندوپلاسمی (ER)، میتوکنـــدریها (M) در تصویر دیده می‌شوند. بزرگنمایی ۶۰۰۰ برابر

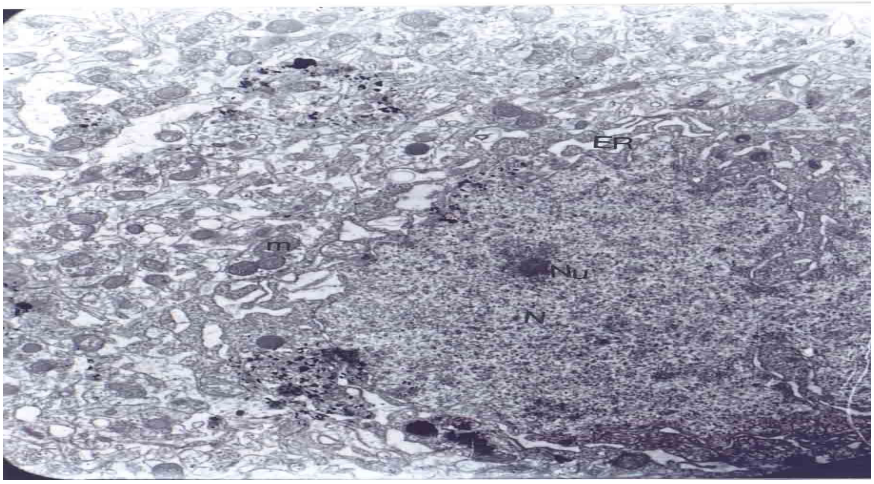


شکل ۳: الکترون میکروگرافی از میتوکندریهای مخچهٔ در رت گروه کنترل. کریستاها (C)و میکروتوبول‌ها (MT) در تصویر واضح دیده می‌شوند. بزرگنمایی ۲۷۰۰۰برابر

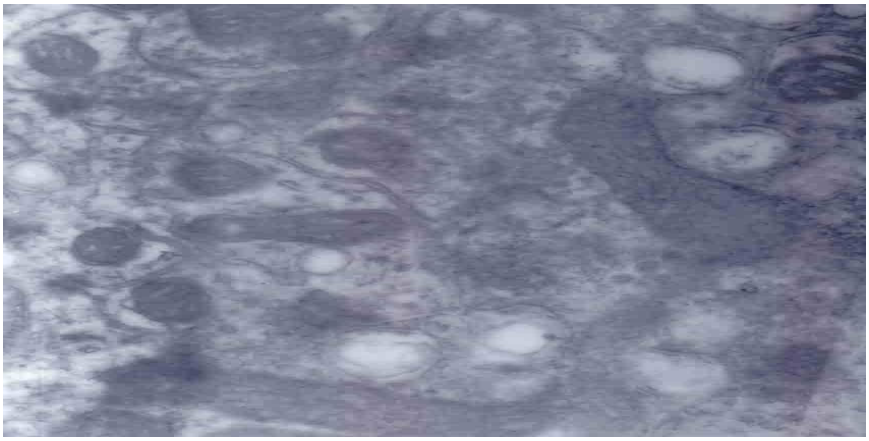


شکل ۴: الکترون میکروگرافی از یک سلول پورکنژ در رت گروه آزمایش. شبکه آندوپلاسمی (ER) دیلاته، هسته (N) و هستـک (Nu) در تصویر دیده می‌شود. بزرگنمایی ۲۷۰۴برابر

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-10-30]



شکل۵ : الکترون میکروگرافی از سلول پورکنژ در رت گروه آزمایش. شبکهٔ آندوپلاسمی (ER) دیلاته، هسته (N)، هستک (Nu)، میتوکندریها (m) واضح در تصویر دیده می‌شوند. بزرگنمایی ۶۰۰۰ برابر



شکل ۶: الکترون میکروگرافی از میتوکندریهای مخچه در رت گروه آزمایش کریستاهای میتوکندریها نامنظم و تحلیل رفته و واکوئل‌های توخالی متعدد در سیتوپلاسم سلول، میتوکندریهای دژنره شده می‌باشند بزرگنمایی ۲۷۰۰۰برابر

بحث

یافته‌های بررسی حاضر نشان داد که در مخچه تحت تأثیر میدان الکترومغناطیس اندازه سلول‌های پورکنژ 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 پورکنژ مخچه بود که هم بررسی با 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 می‌تواند نشان دهنده کاهش فعالیت متابولیکی سلولها تحت تأثیر EMF باشد در حمایت از این یافته

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-10-30]

بررسی‌های متعدد نشان داده‌اند که EMF می‌تواند بر روی ژنوم سلول تاثیر بگذارد (۹ـ۷)، و موجب کاهش ترمیم DNA و یا آپوپتوز شود (۷). همچنین نشان داده شده که EMF باعث کراس لینک prot –DNA، پروتئین ـ 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 پورکنژ تحت تأثیر میدان الکترومغناطیس کاهش می‌یابد (۱۲). همچنین گزارش شده در رت‌هایی که تحت تأثیر میدان با قدرت ۳۰Mw/cm2 بوده‌اند آسیب به میتوکندری‌های کورتکس مغز ایجاد شده باعث تغییر در فاکتور A ترانسکرپتیاسیون میتوکندریال (MT TFA) mRNA می‌شود فاکتور A ترانسکرپتیاسیون میتوکندریال، متابولیسم انرژی میتوکندریال را تنظیم می‌کند (۱۳). از دیگر یافته‌های بررسی حاضر تغییرات در ارگانل‌هائی 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 غشاءآنها باشد. با بررسی مشابه بر روی ساختمان 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 واکوئلیزاسیون اپتیلیوم توبول‌های کلیه در ناحیه رأسی و نیز تغییرات دژنراتیو در گلومرولهای 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 پورکنژ 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 مخچهٔ 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 پورکنژ 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

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-10-30]

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 مخچه باعث تغییراتی به صورت زیر می‌گردد:

هتروکروماتیک شدن هسته سلول‌ها، دیلاته شدن ارگانلهای غشاءدار (میتوکندری و رتیکولوم اندوپلاسمیک) و کاهش تعداد و اندازه سلول‌های پورکنژ با توجه به نتایج حاصله از بررسی حاضر می‌توان 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 بااثرات ملکولی میدان از طریق ایجاد حرارت موضعی و یا ایجاد رادیکال‌های آزاد توجیه پذیر می‌باشد.

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]. Availbable at: http: //www.arrl.org. Accessed may, 2003.

3. L**ö**scher 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 peformance 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، شمارهٔ ۳۳، ۱۳۷۶، صفحهٔ: ۶۸ـ۶۲.

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 radition, 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 ارگانهای 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.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-10-30]

12. Mausset A, Deseze R, Motpeyroux F, Privat A. Effects of radio frequency exposure on the GABAergic systm 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.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-10-30]