

Research Paper

Histopathological Study of Urinary Tract and Induction of Renal Apoptosis by Radiating Electromagnetic Field Waves in Rats



*Shahram Gharachorloo¹, AmirAfshin Khaki², Hamid Mirzaye³

1. Department of Pathobiology, Faculty of Veterinary Medicine, Tabriz Medical Sciences, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
2. Anatomical Sciences & Histology, Faculty of Medicine, Medical science university of Tabriz, Tabriz, Iran.
3. Department of Food Health, Faculty of Veterinary Medicine, Tabriz Medical Sciences, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.



Citation Gharachorloo SH, Khaki AA, Mirzaye H. [Histopathological Study of Urinary Tract and Induction of Renal Apoptosis by Radiating Electromagnetic Field Waves in Rats (Persian)]. *Quarterly of "The Horizon of Medical Sciences"*. 2022; 28(2):264-279. <https://doi.org/10.32598/hms.28.2.2781>

doi <https://doi.org/10.32598/hms.28.2.2781>



ABSTRACT

Received: 21 Feb 2022

Accepted: 15 Mar 2022

Available Online: 01 Apr 2022

Key words:

Electromagnetic field, Apoptosis, Kidney, Bladder, Ureter, Rat

Aims Electromagnetic waves (EMF) are powerful waves that have always been used in advanced industries. The daily effects of waves are evident in today's life. This research aims to investigate the effect of EMF on the healthy tissue of the kidney, bladder, and ureter.

Methods & Materials In this experimental study, 100 rats were randomly selected and divided into 2 equal groups. The treatment group included 50 rats influenced by EMF waves (1 mT) for 8 hours daily over 8 weeks. The control group, including 50 rats without irradiation was kept for 8 weeks. At the end of the period, all rats were killed via the euthanized method, and the kidney, bladder, and ureter were sampled and after tissue passage, were stained by hematoxylin and eosin stain and terminal deoxynucleotidyl transferase (TdT) nick end labeling methods.

Findings The histopathological changes and cell damage in the kidney, bladder, and ureter included atrophy and necrosis of cells, disorganization, hyperemia, and bleeding in the covering, muscular, and connective tissues. Meanwhile, in the kidney tissue, from the point of view of the induction of ptosis, a large part of the nephrons undergo apoptosis. The results of the statistical analysis were obtained via the Mann-Whitney test method. The result was $P \geq 0.05$, indicating a statistically significant effect.

Conclusion It is recommended that exposure to EMF for a long time must be avoided.

* Corresponding Author:

Shahram Gharachorloo, PhD.

Address: Department of Pathobiology, Faculty of Veterinary Medicine, Tabriz Medical Sciences, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

Tel: +98 (914) 4195288

E-mail: shahramghk1382@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Sources of generating electromagnetic field (EMF) waves are the origin of advanced technologies in important industries, such as medical equipment, household appliances, etc., which are all used daily by society. One of the side effects of these waves can be the possible harmful effects on human society as a result of industrial life. A large number of people are always unintentionally affected by electromagnetic waves in their daily life. Electromagnetic waves have various forms and can be classified from the point of view of the generating sources of the waves. The category of electromagnetic waves that are generated from the sources of medical devices and equipment, for example, radiology devices, magnetic resonance imaging, computed tomography scan, and ultrasound devices. The category of electromagnetic waves that are generated by telecommunication equipment and power plants are different types of mobile phones, computers, and monitors, the presence of ferromagnets in industry, high-pressure electric and wireless cables, and telecommunication masts. The next category is obtained from all kinds of household appliances, such as televisions, vacuum cleaners, hair dryers, electric shavers, microwave ovens and electric mattresses, electric sewing machines, or a group created from industrial appliances and equipment, for example, elevators, generators, and radar. Or, they are natural sources that generate electromagnetic waves, such as lightning, ultraviolet rays, gamma and X rays, infrared waves, cosmic rays, rays released from solar explosions, and so on.

Electromagnetic waves are classified based on the intensity of the field, which varies depending on the dose and intensity of the EMF in its generating devices based on the determination of the type of source generating the field and the intensity of the electric current [1, 2]. With the significant increase in the use of emerging and computer-related technologies, which are all generators of electromagnetic waves worldwide, we should expect more reports about the occurrence of destructive and harmful effects of EMF and possible damage to important body organs and the creation of new unknown diseases in human societies, including the destructive effect of electromagnetic waves in the reproductive organs, which has caused an increase in infertility and sterility in recent years. In the prostate tissue, the destructive effect of the waves destroys the nuclear membrane and cellular organs and causes infertility [3]. In the daily life of society, it is not possible to avoid electromagnetic waves,

and in recent years, histological and physiological studies regarding the evaluation of the effects of electromagnetic waves and their role in human health have received more attention [4]. In recent studies, electromagnetic waves have played a role in creating a wide range of somatic abnormalities, including infertility, miscarriage, premature births, intrauterine growth retardation and defects, congenital abnormalities, genetic diseases [5], along with digestive disorders, leukemia-cancers and changes in blood formula, and enzyme changes in vital tissues [6]. Also, many studies have been conducted on the harmful effects of EMF on cardiovascular nervous tissues [1].

The results of the researchers' study on the effect of EMF on the kidney tissue in rats also showed that it causes pathological changes in the kidney tissue and leads to oxidative stress while decreasing the levels of antioxidant enzymes [7]. Harmful effects of EMF of natural or industrial origin on the morphology, physiology, and biochemistry of living tissues have been described, and its effects on health depend on duration and dose [8]. Given the importance of the urogenital system in the present study, we investigate the possible effects of electromagnetic waves on the urinary system (kidney, bladder, and urethra) in rats.

Materials and Methods

In this fundamental and experimental research, a total of 100 adults Wistar rats with an approximate average weight of 200 g were randomly selected from the animal house of [Tabriz University of Medical Sciences](#). In this study, all ethical considerations and protocols for working on laboratory animals were approved by the Ethics Committee for the rights of laboratory animals at the research center of [Tabriz University of Medical Sciences](#). After the mice were transferred to the laboratory, they were kept in cages for one week to adapt to the new environment. The conditions of keeping the rats (experimental and control) were the same during the maintenance and testing, and the food used by them was placed in containers inside the cage. Along with that, the required drinking water was also provided from a bottle by sucking from the glass tubes. The inside of the cages was covered with sawdust to provide a suitable substrate for the rats to live, and during the research, they had 12 hours of darkness and 12 hours of light. The temperature of the storage room was in the range of 23.9°C to 25.3°C and the humidity was measured at 55% to 60%. Meanwhile, 20 grams of ready-made food (plate) was considered for each rat twice daily in the morning and evening. The rats were randomly divided into 2 groups of 50, including Group A (experimental group) and Group B (control group) as follows:

group A (experimental group) included 50 rats that were randomly selected and placed in the generating device of EMF. All the rats in the experimental group were exposed to EMF with an intensity of 1 mT for 8 hours daily for 2 months. The control group, including 50 randomly selected rats were kept without radiation for 2 months [1, 9]. The EMF device consisted of 2 parts as follows: in the first part, 2 copper coils were replaced at a distance of about 50 cm from each other, and the distance between them was a wooden cylinder that was the location of the tested rats' cage; the second part of the EMF generator was a transformer that showed the input and output of electricity, voltage, and the current intensity of the generator while making it adjustable. After the end of the eighth week of the experiment (2 months), all 100 rats in the control and experimental groups were killed via the euthanized method, and by moving the neck vertebra and later, kidney, bladder, and urethra samples were taken [10]. At first, the samples were fixed in 10% buffered formalin for light microscope study and tissue passage in the autotechnicon machine. The cutting was done by 5-micron sections with a microtome and the microscopic sections were prepared and stained with hematoxylin and eosin for bladder and ureter and special staining with the terminal deoxynucleotidyl transferase (TdT) nick end labeling (TUNEL) kit for the kidney. Next, the following procedure was performed: 1) paraffinization of the tissue sections in pure xylene; 2) placing the paraffinized tissue sections in a microwave with a power of 700 W for 10 minutes; 3) A: incubation of the tissue sections in phosphate buffer, B: incubation of the tissue sections for 60 minutes at 37°C; 4) washing the tissue sections 3 times in phosphate buffer; 5) incubation of tissue sections in antifluorescein-pad for 30 min; 6) washing the tissue sections 3 times in phosphate buffer; 7) staining the tissue sections with diaminobenzidine; and 8) differential staining with hematoxylin staining. Finally, we examined the microscopic observations and related images along with their results [11].

The Mann-Whitney test was used to analyze the data using the SPSS software at a significance level of less than 0.05.

Results

Test Group A: In the bladder and ureter, after tissue staining in terms of observation and the presence of important tissue lesions, such as necrosis, atrophy, the creation of empty spaces, and hyperemia and bleeding, and in the kidney of apoptosis induction, the test group compared to the control group was examined in terms of pathology based on the criteria mentioned in Table 1 [12, 13].

The statistical results of the P in kidney, bladder, and ureter cell lesions were as follows: 1) necrosis: $P \leq 0.05$; 2) atrophy: $P \leq 0.05$; 3) hyperemia and hemorrhage: $P \leq 0.05$; 4) creation of space: $P \leq 0.05$; 5) induction of apoptosis: $P \leq 0.05$ (Table 2).

The results showed that the effects of EMF waves are significantly related to changes in cell damage from the histopathological point of view and induction of apoptosis in the experimental group compared to the control group.

In the control group, from the observation of a microscopic sample of nephrons, bladder, and ureter in this group along with the examination of epithelial cells, smooth and striated muscles, connective tissue, and endothelial cells of blood vessels was normal and the distance between cells, nucleus, and cytoplasm and their walls was clear and no cell damage was visible (Figure 1).

However, in the experimental group, the results were as follows:

A) In kidney nephrons, to investigate the apoptosis of nephron cells in the kidney, with specific TUNEL staining in the nephron tubules and Henle loop, pale brown nuclei were observed. They all underwent apoptosis in-

Table 1. The percentage of severity and extent of lesions

lesions in the tissues	Percent
No lesion	0
Mild cell damage (presence of less than 25% lesions)	1
Moderate cell damage (presence of 25-50% of the lesions)	2
Severe cell damage severity (presence of extensive focal lesions)	3
Very severe cell damage (presence of integrated lesions)	4

Table 2. The effect of electromagnetic waves on tissue damage of kidney, bladder, and ureter in rats

Group	Tissue	Atrophy	Hyperemia and Bleeding	Necrosis	Creating Empty Space	Apoptosis
Control	Bladder	-	-	-	-	
	Ureter	-	-	-	-	
	Kidney					
Experiment	Bladder	+++	+++	+++	+++	
	Ureter	+++	+++	+++	+++	
	Kidney					+++

Notes: The sign (-) indicates no damage and (+++) indicates severe damage [13].

Quarterly of
The Horizon of Medical Sciences

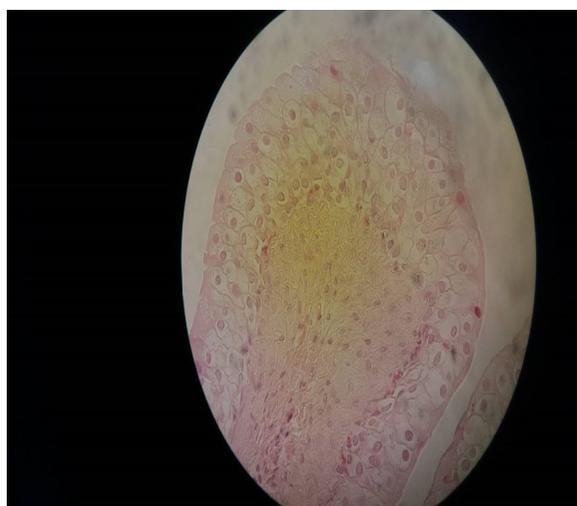
duction, and in some parts of the tubes, even the cells in a more advanced state without nuclei were seen, which were necrotic. Meanwhile, in the direct vessels, bleeding was evident in some parts because of the damage to the endothelium membrane (Figure 2).

B) In the covering tissue of the bladder, the creation of empty spaces was associated with the loss of the basal membrane layer under the covering layer and the necrosis of the muscle and covering cells along with the disorder of the bladder tissue (Figure 3 and Figure 4).

The basal layer of the membrane was destroyed under the covering layer and a fusion in the tissue and tissue dis-

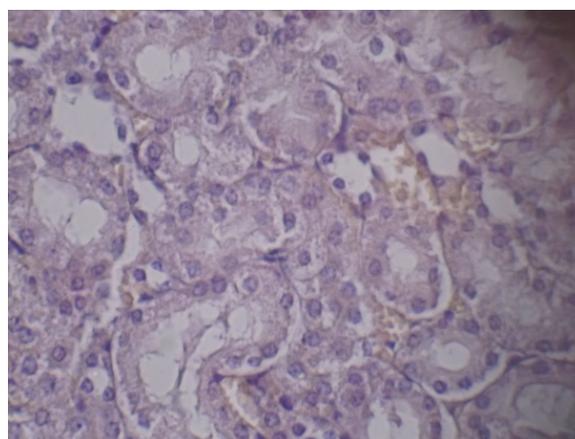
order (between the covering layer and the underlying connective layer). In addition, hyperchromatic nuclei, atrophy and vacuolation, degeneration, and cell necrosis were seen. In the covering cells and the muscle layer under the joint and more advanced state, cellular atrophy and even empty space are created in the muscle tissue, which is accompanied by the pyknosis of the nuclei and in some cases, the creation of spaces in the muscle tissue, which was seen with extensive necrosis (Figure 5 and Figure 6).

C) In terms of the ureter, in the epidermal layer, parts of the basal membrane layer under the epidermal layer were destroyed and atrophy and cell degeneration along with hyperchromatic nuclei and necrosis of the epidermal cells and



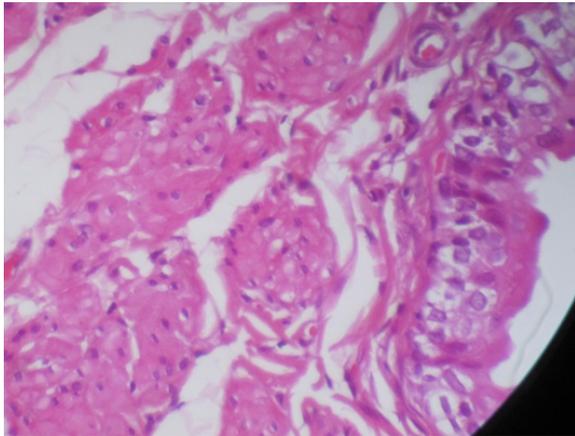
Quarterly of
The Horizon of Medical Sciences

Figure 1. Notes: 400 Hematoxylin and eosin from the observation of the microscopic sample from the bladder of the control group and the examination of the cells seemed completely normal, and the interval between the cells was the nucleus and cytoplasm and the certain walls.



Quarterly of
The Horizon of Medical Sciences

Figure 2. Notes: 400 TUNELL from observations of microscopic samples from the kidney in the experiment group, cells observed in thin and thick tubules, nephron tubules, Henle loop, etc., which have undergone apoptosis, which is all evident with pale brown nuclei and the parts of the said tubes that were seen without a nucleus are due to the occurrence of necrosis in them, which is associated with bleeding in some parts.



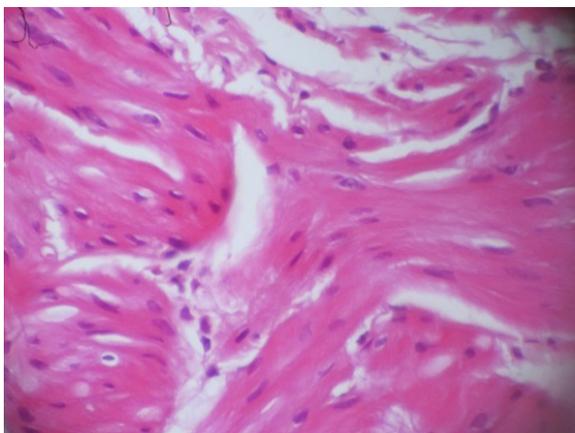
Quarterly of
The Horizon of Medical Sciences

Figure 3. Notes: 400 H&E from the observations of the microscopic sample from the bladder of the experimental group, the creation of empty spaces in the tissue and the destruction of the basal membrane layer under the covering layer, and the necrosis of the muscle and covering cells with tissue irregularity in the bladder was evident.

irregularity was observed. In the underlying layer, the epidermal tissue and empty spaces were created and tissue fusion with interstitial tissue irregularity and underlying tissue, along with their cell atrophy and necrosis, created empty spaces in smooth muscles and cell necrosis were seen (Figure 7).

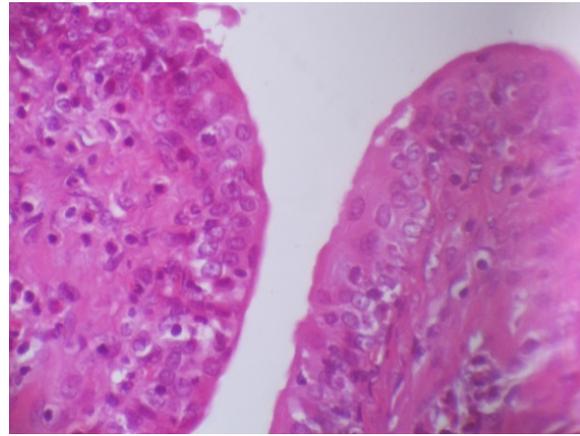
Discussion

Field ionizing radiation or EMF waves can have destructive effects on the health of humans. The results of the stud-



Quarterly of
The Horizon of Medical Sciences

Figure 5. Notes: 400 H&E from the observations of the microscopic sample from the bladder of the experiment group, cell necrosis, and hyperchromatic, the nuclei and empty spaces created in the smooth muscles were evident in the bladder.

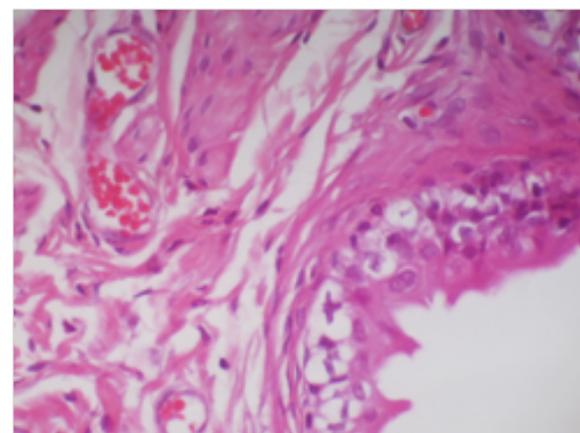


Quarterly of
The Horizon of Medical Sciences

Figure 4. Notes: 400 H&E from the observation of the microscopic sample from the bladder of the experiment group, the basal layer of the membrane under the covering layer was destroyed, and a fusion in the tissue and tissue irregularity was seen (between the covering layer and the underlying connective layer) with necrosis and degeneration and cell necrosis is visible in the bladder.

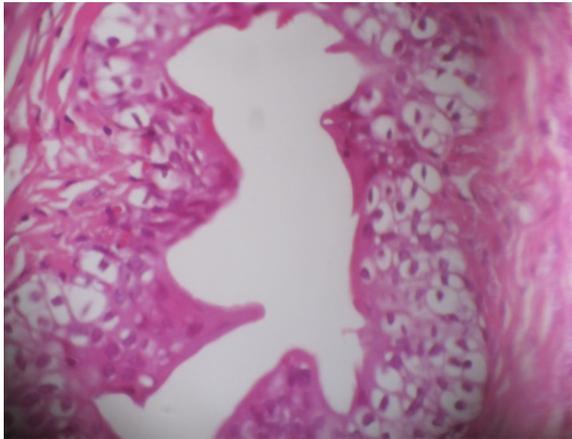
ies conducted in rats from the histopathological point of view showed the following items in the selected sections:

A) In Kidney Tissue: With special TUNEL staining, to observe the rate of apoptosis in the kidney tissue in the cells of the nephron tube and the Henle loop, and so on, with pale brown nuclei in which apoptosis was induced and in parts of the tubes in the central part, all cells were in a more advanced state without nuclei that they had cell



Quarterly of
The Horizon of Medical Sciences

Figure 6. Notes: 400 H&E from the observations of the microscopic sample from the bladder of the hyperemic test group shows the disintegration of the basal layer of the membrane in the vascular membrane and necrosis of the muscle and epithelial cells with the irregularity of the tissue and the crushing of the nuclei and the reduction of cell layers in the covering tissue of the bladder.



Quarterly of
The Horizon of Medical Sciences

Figure 7. Notes: 400 H&E from the observations of the microscopic sample of the ureter in the experimental group, in parts of the tissue irregularity and empty spaces created in the connective and muscular layer, with atrophy and degeneration of the cells of the covering layer and necrosis and hyperchromatic nuclei were evident in the ureter.

degeneration, necrosis, and bleeding in direct vessels in some parts of the tissue.

B) In the Tissue of the Bladder and Ureter: Cell damage includes the following items: the basal layer of the membrane, which is located under the covering layer of the bladder and ureter in the endothelium membrane of the vessels, is damaged and destroyed in some parts, and in the muscle, connective, and covering parts, most of the cells in its different layers undergo degeneration and crushing. Meanwhile, cell necrosis of the tissue can be seen with tissue irregularity and the creation of empty spaces under the covering layer and connective tissue. In research conducted from 1982 to the last decade, the effect of free radicals in tissue damage following exposure to electromagnetic waves has been proven in laboratory models [14-16].

In the conducted studies, the harmful effects of EMF waves on the process of spermatogenesis in rats have been reported, including the study of Erpek et al., which investigated the adverse effects of EMF. They showed the adverse effects of EMF on the reproductive organs of rats and necrosis in different layers of spermatogenesis cells and severe degenerative changes in the seminiferous duct [8]. The research by Kalender et al. showed the destructive effects of EMF waves on the process of spermatogenesis in rats. Erpek's study showed that electromagnetic waves increase blood flow and vascular hyperemia and finally cell death necrosis by another mechanism, namely by increasing the temperature (hyperthermia). There are

also studies conducted in the field of apoptosis induction. The effect of EMF waves on cells is different from the discussion of conductive and non-conductive tissues relative to the permeability of EMF waves. The heat effect mechanism under the influence of EMF waves plays a role in causing apoptosis inside the cells [18, 19]. The second mechanism in the induction of apoptosis includes the effects of EMF waves specifically with the production of H₂O₂ and free radicals, especially the O radical, which is caused by the energy contained in these waves and its effect on intracellular water and the penetration of these free radicals into DNA and the induction of the P53 gene. As a result, it is the cause of apoptosis induction in the cell. This mechanism is the non-thermal pathway of apoptosis induction [20]. In a report in the bulletin of the World Health Organization, the study of the effects of these fields was recorded. Accordingly, EMF with rease in blood flow and a change in the permeability of the blood barrier layer in the vessels; therefore, hyperemia and tissue edema can be justified in this way [21].

In the studies conducted from the histopathological point of view by Khaki et al. on the issue of the effect of EMF waves on the prostate in the rat from the point of view of light and electron microscopy, in which atrophy and hyperchromatic nuclei and cell necrosis in the secretory cells and muscle layer and the connective tissue of the prostate glands and with the decrease in the thickness of the muscle layer, the loss of the basal layer of the membrane, especially in the blood vessels and bleeding in the prostate tissue was reported [3]. Regarding the effect of EMF waves on the testicular tissue from the light microscope point of view, atrophy and the connective layer of the testicular tissue and hyperchromatic nuclei and their necrosis, the reduction of the thickness of the connective layer and the loss of layers of spermatid cells in the testicular tissue were determined [14]. Khayat et al. conducted a study on the effect of EMF waves on kidney tissue from the perspective of histopathological effects in rats [22]. Turedi et al. conducted a study on the biochemical and pathological changes in the kidney and bladder under the influence of 900 MHz electromagnetic waves on male rats [23]. These two studies reported severe histopathological changes of edema, hyperemia, hemorrhage, and congestion of venous vessels in the main tissue and atrophy of glomeruli and vacuolation and degeneration and necrosis of epithelial cells in renal tubules. In addition, the basal membrane layer in parts around the blood vessel is removed and accompanied by discontinuities in the vascular endothelial cell layers, as well as the creation of empty spaces in the bladder tissue and cell necrosis in the muscle and connective and covering parts of the tissue with tissue irregularity and the creation of empty spac-

es under the covering and connective layer and muscle and induction of apoptosis in bladder and kidney tissues in rats. The results obtained in the present research are consistent with other studies about the harmful effects of EMF waves in different tissues and cells.

It is suggested to conduct additional and more detailed studies to examine the additional results of the effects of EMF waves and the effects.

Conclusion

EMF waves are high-energy and common waves that can be sporadically present in our daily environment and cause serious damage to cells and vital tissues. Even the results and cellular changes in the microscopic images were undeniably observed in the kidney, bladder, and so on. Accordingly, it is recommended to avoid sources of radiation of these waves as much as possible to maintain health [17-24].

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

The procedures in this study were in accordance with the guidelines for the use of laboratory animals of [Islamic Azad University of Tabriz branch](#) and [Tabriz University of Medical Sciences](#).

Funding

This study was funded by [Islamic Azad University of Tabriz branch](#).

Authors' contributions

Conceptualization, supervision and methodology: Shahram Gharachorloo; data collection: Shahram Gharachorloo, and AmirAfshin Khaki; data analysis: Hamid Mirzaei; investigation, writing original draft, review & editing, funding acquisition, and resources: All authors.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors would like to thank the deputy for research of [Islamic Azad University of Tabriz branch](#) for the financial support.

مقاله پژوهشی

مطالعه هیستوپاتولوژیکی دستگاه ادراری و القای آپوپتوز کلیوی با تابش امواج الکترومغناطیسی در رت

*شهرام قراچورلو^۱، امیرافشین خاکی^۲، حمید میرزایی^۳

۱. گروه پاتوبیولوژی، دانشکده دامپزشکی، علوم پزشکی تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

۲. گروه علوم تشریح، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران.

۳. گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، علوم پزشکی تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

چکیده

اهداف: امواج الکترومغناطیسی، امواج پر قدرتی هستند که در صنایع پیشرفته همواره مورد استفاده قرار گرفته‌اند و تأثیرات روزمره امواج در زندگی امروزی مشهود است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی تأثیر امواج الکترومغناطیسی بر روی بافت سالم کلیه، مثانه و میزناهی است. **مواد و روش‌ها:** در این مطالعه تجربی، ۱۰۰ سر رت به‌طور تصادفی در ۲ گروه مساوی انتخاب شدند که ۵۰ سر در گروه آزمایش ۸ هفته و روزانه ۸ ساعت تحت تابش امواج الکترومغناطیسی با شدت ۱ میلی‌تسلا قرار گرفتند و گروه کنترل شامل ۵۰ سر رت بود که بدون تابش امواج به مدت ۸ هفته نگهداری شدند. در انتهای هشتمین هفته رت‌های هر دو گروه به شیوه آسان‌کشی کشته شدند و پس از نمونه‌برداری و انجام مراحل پاساژ بافت، نهایتاً با رنگ‌آمیزی هماتوکسیلین-اتوزین و تانل تحت مطالعه قرار گرفتند.

یافته‌ها: تغییرات هیستوپاتولوژیکی و آسیب‌های سلولی در کلیه و مثانه و میزناهی شامل آتروفی و نکروز سلولی دیس آرگانیزیشن و پرخونی و خون‌ریزی در بافت‌های پوششی، عضلانی و همبندی بود. در بافت کلیه از دیدگاه القای توزیس نیز بخش وسیعی از نفرون‌ها دچار آپوپتوز شدند. نتایج تحلیل آماری با روش من‌ویتنی انجام شد و نتیجه $P \leq 0/05$ حاصل شد که از نظر آماری تأثیر معناداری را نشان داد.

نتیجه‌گیری: پیشنهاد می‌شود از قرار گرفتن در معرض امواج الکترومغناطیسی برای مدت‌زمان طولانی اجتناب شود.

تاریخ دریافت: ۰۲ اسفند ۱۴۰۰

تاریخ پذیرش: ۲۴ اسفند ۱۴۰۰

تاریخ انتشار: ۱۲ فروردین ۱۴۰۱

کلیدواژه‌ها:

امواج الکترومغناطیسی، آپوپتوزیس، کلیه، مثانه، میزناهی، موش صحرایی

* نویسنده مسئول:

دکتر شهرام قراچورلو

نشانی: تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم پزشکی تبریز، دانشکده دامپزشکی، گروه پاتوبیولوژی.

تلفن: ۴۱۹۵۲۸۸ (۹۱۴) +۹۸

پست الکترونیکی: shahramghk1382@gmail.com

مقدمه

الکترومغناطیسی امکان‌پذیر نیست و در سال‌های اخیر مطالعاتی از لحاظ بافت‌شناسی و فیزیولوژی در خصوص ارزیابی اثرات امواج الکترومغناطیسی و نقش آن در سلامتی انسان‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است [۴]. در مطالعات اخیر امواج الکترومغناطیسی در ایجاد طیف وسیعی از ناهنجاری‌های سوماتیک نقش داشته است که از این میان می‌توان به نازایی، سقط جنین، تولد‌های نارس، عقب‌ماندگی و نقص رشد داخل رحمی، ناهنجاری‌های مادرزادی، بیماری‌های ژنتیکی [۵] و اختلالات گوارشی، لوسمی، سرطان‌ها و تغییرات فرمول خونی و تغییرات آنزیمی در بافت‌های حیاتی اشاره کرد [۶]. همچنین مطالعات فراوانی در مورد اثرات سوء و آسیب‌رسان امواج الکترومغناطیسی بر بافت‌های عصبی قلبی‌عروقی صورت گرفته است [۱].

نتایج مطالعه پژوهشگران بر روی تأثیر امواج الکترومغناطیسی بر روی بافت کلیه در رت نشان داد این امواج موجب تغییرات پاتولوژیک در بافت کلیه و ایجاد استرس اکسیداتیو و کاهش میزان سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود [۷]. اثرات مضر امواج الکترومغناطیسی با منشأ طبیعی یا صنعتی بر روی مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمی بافت‌های زنده توصیف شده است که عوارض آن بر روی سلامتی وابسته به مدت و دُز است [۸]. بنا بر اهمیت دستگاه ادراری تناسلی در پژوهش حاضر بر آن شدیم تا به بررسی اثرات احتمالی امواج الکترومغناطیسی بر روی دستگاه ادراری (بافت‌های کلیه، مثانه و میزنا) در رت بپردازیم.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش بنیادی و تجربی مجموعه‌ای شامل ۱۰۰ سر موش صحرایی بالغ نژاد ویستار با وزن تقریبی میانگین ۲۰۰ گرم از خانه حیوانات دانشگاه علوم پزشکی تبریز به‌طور کاملاً تصادفی انتخاب شدند. در این مطالعه تمامی ملاحظات اخلاقی و پروتکل‌های کار بر روی حیوانات آزمایشگاهی که مورد تأیید کمیته نظارت بر حقوق حیوانات آزمایشگاهی مرکز تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی تبریز بود، انجام شد. پس از انتقال موش‌ها به آزمایشگاه، آن‌ها ۱ هفته در قفس به‌منظور سازگاری با محیط جدید نگهداری شدند. شرایط نگهداری موش‌های صحرایی (آزمایش و کنترل) در طول نگهداری و آزمایش یکسان بود و غذای مورد استفاده آن‌ها در ظرف‌هایی داخل قفس تعبیه شده بود و همراه با آن آب آشامیدنی مورد نیازشان نیز از بطری آب به شیوه مکیدن از لوله‌های شیشه‌ای تأمین می‌شد. داخل قفس‌ها از خاک اره پوشیده شده بود تا بستر مناسبی برای زندگی موش‌ها فراهم شود و در طول تحقیق از ۱۲ ساعت تاریکی و ۱۲ ساعت روشنایی برخوردار بوده‌اند. دمای اتاق نگهداری ۲۳/۹ الی ۲۵/۳ سانتی‌گراد بود و درصد رطوبت اتاق ۵۵ الی ۶۰ درصد اندازه‌گیری شده بود. روزانه صبح و عصر ۲ بار برای هر موش ۲۰ گرم غذای آماده (پلیت) در نظر گرفته شده بود.

تکنولوژی‌های پیشرفته از منابع مولد امواج الکترومغناطیسی^۱ هستند، مانند تجهیزات پزشکی و لوازم خانگی و غیره که متأسفانه همگی در جامعه بشری امروز کاربرد دارند. یکی از عوارض این امواج می‌تواند تأثیرات احتمالی آسیب‌رسان و مضر باشد که حاصل یک زندگی صنعتی است. تعداد زیادی از مردم همیشه به‌طور ناخواسته در زندگی روزمره خود تحت تأثیر امواج الکترومغناطیسی هستند. امواج الکترومغناطیسی اشکال متنوعی دارند که از دیدگاه منابع تولیدکننده، امواج را می‌توان به این موارد طبقه‌بندی کرد:

آن دسته از امواج الکترومغناطیسی که از منابع دستگاه‌ها و تجهیزات پزشکی تولید می‌شود، به‌طور نمونه: دستگاه‌های رادیولوژی، ام‌آر‌آی، سی‌تی‌اسکن و دستگاه سونوگرافی. آن دسته از امواج الکترومغناطیسی که از لوازم و تجهیزات مخابراتی و نیروگاهی تولید می‌شود، همانند انواع تلفن‌های موبایل، انواع رایانه‌ها و مانیتورها، وجود فرمغناطیسی‌ها در صنعت و کابل‌های فشار قوی برق و بی‌سیم و دکل‌های مخابراتی و دسته‌های دیگر که از انواع لوازم خانگی حاصل می‌شود، مثل تلویزیون، جاروبرقی، سشوار، ریش‌تراش برقی، اجاق‌های میکروویو و تشک‌های برقی، چرخ خیاطی برقی و یا دسته‌ای که از لوازم و تجهیزات صنعتی ایجاد می‌شود، مثلاً آسانسورها، ژنراتورها و رادارها. همچنین منابع طبیعی می‌توانند مولد امواج الکترومغناطیسی باشند که می‌توان به رعد و برق و اشعه ماورای بنفش و پرتوهای گاما و X و امواج مادون قرمز و پرتوهای کیهانی و پرتوهای آزاد شده از انفجارات خورشیدی و غیره اشاره کرد.

امواج الکترومغناطیسی بر اساس شدت میدان طبقه‌بندی می‌شود که بسته به دُز و شدت میدان الکترومغناطیسی در دستگاه‌های مولد آن بر اساس تعیین نوع منبع تولیدکننده میدان و میزان شدت جریان الکتریکی متفاوت است [۱، ۲]. با رشد چشمگیر استفاده از تکنولوژی‌های نوظهور و وابسته به کامپیوتر که در سراسر جهان همگی مولد امواج الکترومغناطیسی هستند، بایستی در انتظار گزارش‌های بیشتری در مورد وقوع تأثیرات مخرب و زیان‌بار امواج الکترومغناطیسی و انواع آسیب‌های احتمالی در اندام‌های مهم بدن و ایجاد بیماری‌های ناشناخته جدید در جوامع انسانی باشیم، از جمله اثر تخریبی امواج الکترومغناطیسی در اندام‌های تناسلی که موجب افزایش آمار ناباروری و نازایی در سال‌های اخیر شده است. در بافت پروستات اثر تخریبی امواج باعث تخریب غشای هسته و ارگان‌های سلولی و ناباروری می‌شود [۳].

در زندگی روزمره جامعه انسانی، اجتناب و دوری از امواج

1. Electromagnetic Field (EMF)

گردد؛

۴. شست‌وشوی مقاطع بافتی، ۳ بار در ماده بافر فسفات؛

۵. آنکوبه کردن مقاطع بافتی در ماده به مدت ۳۰ دقیقه Anti-flourescein-pad؛

۶. ۳ بار شست‌وشو مقاطع بافتی در ماده بافر فسفات

۷. آغشته‌سازی برش‌های بافتی به ماده Diamin benzi-dine؛

۸. رنگ‌آمیزی افتراقی به روش هماتوکسیلین صورت گرفت و نهایتاً مشاهدات میکروسکوپی و نگاره‌های مربوطه همراه با نتایج آن بررسی شد [۱۱].

از آزمون آماری من‌ویتنی برای تحلیل داده‌ها و نرم‌افزار SPSS در سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ استفاده شد.

یافته‌ها

گروه آزمایش

۱. در مثنای و میزناهی پس از رنگ‌آمیزی وجود ضایعات مهم بافتی از قبیل نکروز، آتروفی، ایجاد شدن فضاهای خالی، پرخونی و خونریزی مورد مطالعه و ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲. در کلیه، القای آپوپتوز گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل از نظر آسیب‌شناسی براساس طبقه‌بندی شدت و وسعت ضایعات که در جدول شماره ۱ قابل مشاهده است، بررسی شد [۱۲، ۱۳].

نتایج آماری P در ضایعات سلولی کلیه، مثنای و میزناهی مثل نکروز، آتروفی، پرخونی و خونریزی، ایجاد شدن فضای خالی و القای آپوپتوز برابر با ۰/۰۵ ≤ بوده است (جدول شماره ۲).

نتایج نشان‌دهنده اثرات امواج الکترومغناطیس به‌طور معناداری در مورد تغییرات آسیب‌های سلولی از دیدگاه هیستوپاتولوژیکی و القای آپوپتوز در گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل است.

موش‌های صحرایی به‌طور تصادفی در ۲ گروه ۵۰ سری شامل گروه آزمایش و گروه کنترل بدین شرح تقسیم‌بندی شدند:

گروه آزمایش شامل ۵۰ سر از موش‌های صحرایی بود که به‌طور تصادفی انتخاب شدند و در دستگاه تولیدکننده امواج الکترومغناطیس قرار گرفتند. تمامی موش‌های صحرایی گروه آزمایش ۲ ماه و روزی ۸ ساعت تحت تأثیر امواج الکترومغناطیسی با شدت یک میلی‌تسلا قرار گرفتند. گروه کنترل نیز که شامل ۵۰ سر از موش‌های صحرایی بودند به‌طور تصادفی انتخاب شده بودند و بدون تابش امواج ۲ ماه نگهداری شده بود [۹، ۱].

دستگاه امواج الکترومغناطیسی شامل ۲ قسمت بود که در بخش اول با ۲ سیم‌پیچ مسی به فاصله حدود ۵۰ سانتی‌متر از هم جایگزین شده بود و حد فاصل آن‌ها استوانه‌ای چوبی قرار داشت که محل قرارگیری قفس موش‌های مورد آزمایش بود. بخش دوم دستگاه مولد امواج الکترومغناطیسی عبارت بود از یک ترانس که ورودی و خروجی برق و ولتاژ و شدت جریان دستگاه مولد را نشان می‌داد و آن را قابل تنظیم می‌کرد. پس از انتهای هشتمین هفته در طول آزمایش (۲ ماه) تمامی ۱۰۰ سر موش گروه کنترل و آزمایش به شیوه آسان‌کشی و با جابه‌جایی مهره گردن کشته شدند و بعداً نمونه‌برداری کلیه و مثنای و میزناهی انجام شد [۱۰]. در ابتدا نمونه‌ها در فرمالین بافر ۱۰ درصد فیکسه شدند. در مطالعه میکروسکوپ نوری، ابتدا پاساژ بافتی در دستگاه اتونکنیکوم صورت گرفت و با دستگاه میکروتوم مقاطع ۵ میکرونی تهیه و رنگ‌آمیزی هماتوکسیلین اتوزین برای نمونه‌های مثنای و میزناهی و رنگ‌آمیزی اختصاصی با کیت TUNEL برای بافت کلیه بدین صورت انجام شد:

۱. پارافین‌گیری مقاطع بافتی در گزلیل خالص؛

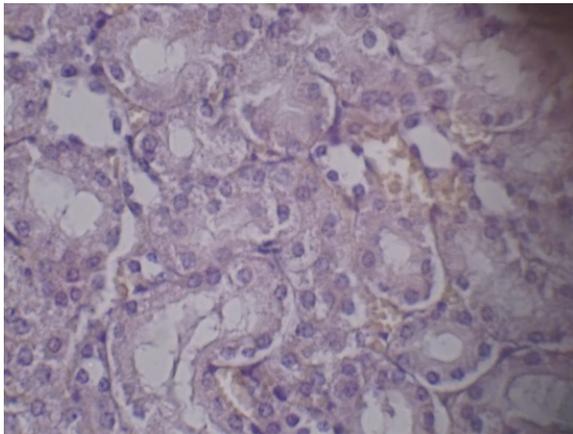
۲. قرار دادن مقاطع بافتی پارافین‌گیری شده در دستگاه مایکروویو با توان ۷۰۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه؛

۳. آنکوبه کردن مقاطع بافتی در ماده بافر فسفات و آنکوبه کردن مقاطع بافتی به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی

جدول ۱. شدت و وسعت آسیب‌های سلولی

درصد	میزان شدت آسیب
۰	عدم وجود ضایعات در بافت
۱	شدت آسیب‌های سلولی ملایم با وجود ضایعات کمتر از ۲۵ درصد
۲	شدت آسیب‌های سلولی متوسط با وجود ضایعات کانونی ۵۰ تا ۲۵ درصد از بافت
۳	شدت آسیب‌های سلولی شدید با وجود ضایعات کانونی وسیع در بافت
۴	شدت آسیب‌های سلولی خیلی شدید با وجود ضایعات یکپارچه سلول‌های بافت

افق دانش



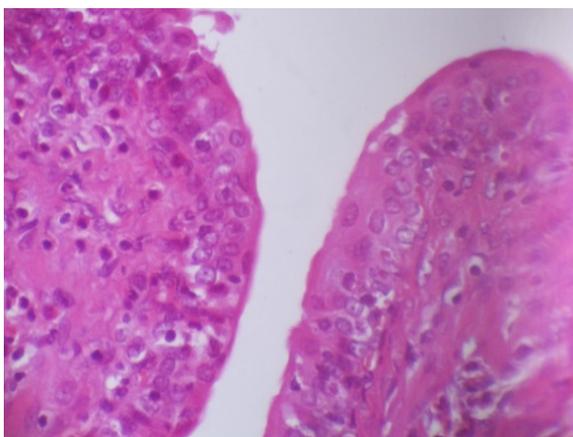
افتخ دانش

تصویر ۲. $400\times$ TUNEL، در مشاهدات نمونه میکروسکوپی از کلیه در گروه آزمایش، سلول‌های مشاهده شده در لوله‌های نازک و ضخیم و لوله‌های نفرونی و قوس هنله و غیره که دچار آپوپتوز شده‌اند تماماً با هسته‌های قهوه‌ای کمرنگ مشهودند و بخش‌هایی از لوله‌های مذکور که بدون هسته دیده می‌شود به علت وقوع نکروز در آن‌هاست که در قسمت‌هایی با خون‌ریزی همراه است.

گروه آزمایش

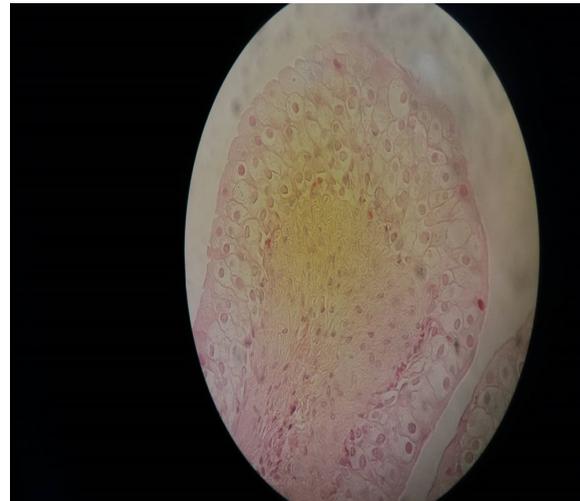
نفرون‌های کلیه

در بررسی آپوپتوز سلول‌های نفرونی در کلیه با رنگ‌آمیزی اختصاصی TUNEL در لوله‌های نفرونی و قوس هنله و غیره با هسته‌های قهوه‌ای کمرنگ دیده می‌شد که همگی دچار القای آپوپتوز شده بودند. در بخش‌هایی از لوله‌ها حتی سلول‌ها در حالت پیشرفته‌تر بدون هسته دیده می‌شدند که نکروزه شده بودند و در عروق مستقیم نیز در قسمت‌هایی به علت آسیب غشای



افتخ دانش

تصویر ۴. هماتوکسیلین-ائوزین $400\times$ ، در مشاهدات نمونه میکروسکوپی از مثانه گروه آزمایش، لایه بازال ممبران زیر لایه پوششی از بین رفته بود و یک آمیختگی در بافت و بی‌نظمی بافتی دیده می‌شد (بین لایه پوششی و لایه همبندی زیرین) که همراه با نکروز و دژنرسیون و نکروز سلولی در مثانه قابل مشاهده است.

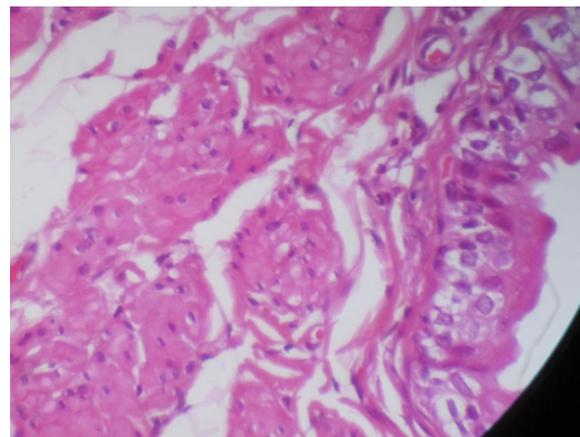


افتخ دانش

تصویر ۱. هماتوکسیلین-ائوزین $400\times$ ، در مشاهدات نمونه میکروسکوپی از مثانه گروه کنترل سلول‌ها تماماً نرمال و طبیعی به نظر می‌رسید و حد فاصل سلول‌ها، هسته و سیتوپلاسم و دیواره‌های مشخص بود.

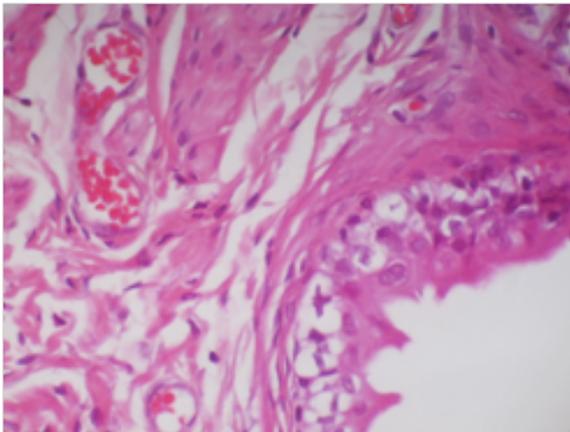
گروه کنترل

در مشاهدات نمونه میکروسکوپی از نفرون‌ها و مثانه و میزنای در گروه کنترل و بررسی سلول‌های پوششی، عضلانی صاف و مخطط و بافت همبندی و سلول‌های آندوتلیال عروق خونی طبیعی بود و حد فاصل سلول‌ها هسته و سیتوپلاسم و دیواره‌های آن‌ها مشخص بود و هیچ‌گونه آسیب سلولی به چشم نمی‌خورد (تصویر شماره ۱).



افتخ دانش

تصویر ۳. هماتوکسیلین-ائوزین $400\times$ ، در مشاهدات نمونه میکروسکوپی از مثانه گروه آزمایش، ایجاد فضاهای خالی در بافت و از بین رفتن لایه بازال ممبران زیر لایه پوششی و نکروز سلول‌های عضلانی و پوششی به همراه بی‌نظمی بافت در مثانه مشخص بود.



افتخار دانش

تصویر ۶. هماتوکسیلین-ائوزین $400\times$ ، در مشاهدات نمونه میکروسکوپی از مثانه گروه آزمایش، پرخونی گسستگی لایه بازال ممبران در غشای عروق و نکروز سلول‌های عضلاتی و پوششی با بی‌نظمی بافت و خرد شدن هسته‌ها و کاهش طبقات سلولی در بافت پوششی مثانه همراه است.

و ایجاد شدن فضاهای خالی لابه‌لای بافت عضلاتی بود و نکروز وسیع ملاحظه می‌شد (تصاویر شماره ۵ و ۶).

میزنای

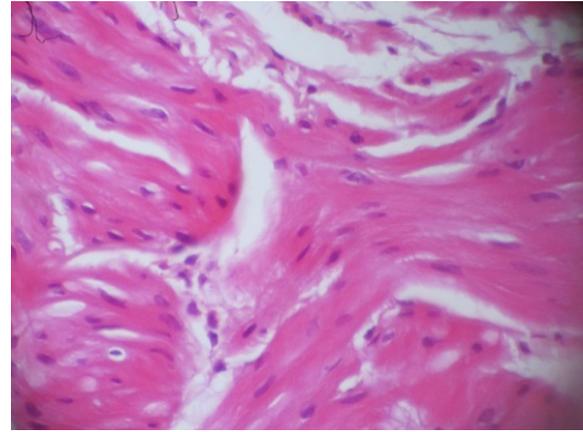
در لایه پوششی، قسمت‌هایی از لایه بازال ممبران زیر لایه پوششی از بین رفته بود و با آتروفی و دژنراسانس سلولی و هیپرکروماتینی هسته‌ها و نکروز سلول‌های پوششی میزنای و بی‌قاعدگی همراه بود. لایه زیرین بافت پوششی و فضاهای خالی ایجاد شده و آمیختگی بافتی، بی‌نظمی بافت بین پوششی و بافت زیرین همراه با آتروفی سلولی و نکروز شدن آن‌ها و ایجاد فضاهای خالی در عضلات صاف و نکروز سلولی دیده می‌شد. (تصویر شماره ۷).

بحث

تشعشعات یونیزان میدان و یا امواج الکترومغناطیسی می‌تواند بر سلامتی جامعه بشری اثرات مخربی داشته باشد. نتایج مطالعات صورت گرفته در موش صحرائی از دیدگاه هیستوپاتولوژیکی در ۲ بخش کلیه و مثانه و میزنای در تحقیق حاضر چنین نشان داد:

بافت کلیه

با رنگ‌آمیزی اختصاصی TUNEL، در مشاهده میزان وقوع آپوپتوز در بافت کلیه در سلول‌های لوله نفرونی و قوس هنله و غیره با هسته‌های قهوه‌ای کم‌رنگ که در آن‌ها القا آپوپتوز انجام شد، در لوله‌های بخش مرکزی کلیه سلول‌ها در حالت شدیدتر بدون هسته بودند که دچار دژنراسیون سلولی و نکروز شده‌اند و در قسمت‌هایی از بافت نیز دچار خونریزی شدید بودند.



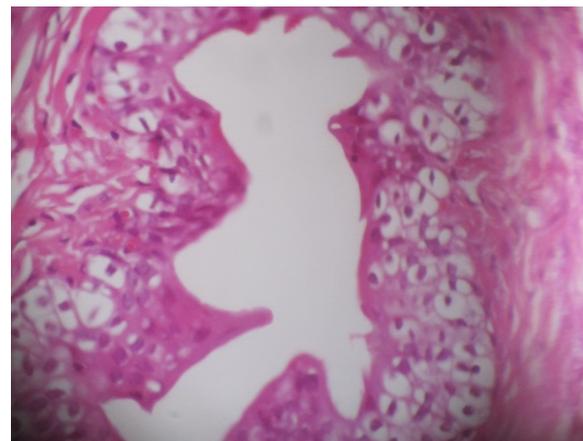
افتخار دانش

تصویر ۵. هماتوکسیلین-ائوزین $400\times$ ، در مشاهدات نمونه میکروسکوپی از مثانه گروه آزمایش، نکروز سلولی و هیپرکروماتینی هسته‌ها و فضاهای خالی ایجاد شده در عضلات صاف دیده می‌شد.

آندوتلیومی آن، موجب خونریزی شده بودند (تصویر شماره ۲).

مثانه

در بافت پوششی مثانه ایجاد فضاهای خالی با از بین رفتن لایه بازال ممبران زیر لایه پوششی و نکروز سلول‌های عضلاتی و پوششی با بی‌نظمی بافت مثانه همراه بود (تصاویر شماره ۳ و ۴). لایه بازال ممبران در زیر لایه پوششی از بین رفته بود و یک آمیختگی در بافت و بی‌نظمی بافتی (بین لایه پوششی و لایه همبندی زیرین) و هیپرکروماتینی هسته‌ها با آتروفی و واکوتلاسیون دژنراسیون و نکروز سلولی دیده می‌شد. در سلول‌های پوششی و در لایه عضلاتی زیر همبندی و در حالت پیشرفته‌تر، آتروفی سلولی و حتی فضای خالی در بافت عضلاتی ایجاد شده بود که همراه با پیکنوز شدن هسته‌ها در بعضی موارد



افتخار دانش

تصویر ۷. هماتوکسیلین-ائوزین $400\times$ ، از مشاهدات نمونه میکروسکوپی از میزنای در گروه آزمایش در قسمت‌هایی بی‌نظمی در بافت و فضاهای خالی ایجاد شده در لایه همبندی و عضلاتی به همراه آتروفی و دژنراسانس سلول‌های لایه پوششی و نکروز شدن و هیپرکروماتینی هسته‌ها در میزنای مشهود بود.

جدول ۲. تأثیر امواج الکترومغناطیسی بر آسیب بافتی کلیه و مثانه و میزناهی در رت

گروه	آتروفی	پرخونی و خونریزی	نکروز	ایجاد فضای خالی	آپوپتوز
مثانه	-	-	-	-	-
میزناهی	-	-	-	-	-
کلیه	-	-	-	-	-
مثانه	+++	+++	+++	+++	-
میزناهی	+++	+++	+++	+++	-
کلیه	+++	+++	+++	+++	+++

علامت (-) نشانگر عدم وجود آسیب و (+++) نشانگر آسیب شدید است [۳۱]

افتخ دانش

اختصاصی با تولید H_2O_2 و رادیکال‌های آزاد و خصوصاً رادیکال O است که بر اثر انرژی موجود در این امواج و تأثیر آن در آب داخل سلولی و نفوذ این رادیکال‌های آزاد به DNA و القای ژن P53 ایجاد می‌شود. در نتیجه عامل القای آپوپتوزیس در سلول است. این مکانیسم مسیر غیر حرارتی القای آپوپتوزیس است [۲۰].

با گزارشی در بولتن سازمان بهداشت جهانی^۳ بررسی اثرات این میدان‌ها به ثبت رسیده بود که گزارش شده است میدان‌های امواج الکترومغناطیسی با افزایش دما و هیپرترمی سبب افزایش جریان خون و تغییر در نفوذپذیری لایه سدی خونی در عروق می‌شود. بنابراین پرخونی و ادم بافتی را بدین گونه می‌توان توجیه کرد [۲۱].

در تحقیقات صورت گرفته از دیدگاه هیستوپاتولوژیکی توسط خاکی و همکاران در سال ۲۰۰۸ با موضوع تأثیر امواج الکترومغناطیسی بر روی پروستات در موش از دیدگاه میکروسکوپ نوری و الکترونی، آتروفی و هیپرکروماتینی هسته‌ها و نکروز سلولی در سلول‌های ترشحی و لایه عضلانی و همبندی غدد پروستات و با کاهش ضخامت لایه عضلانی و از بین رفتن لایه بازال ممبران خصوصاً در عروق خونی و خونریزی در بافت پروستات گزارش شد [۳]. در موضوع تأثیر امواج الکترومغناطیسی بر روی بافت بیضه از دیدگاه میکروسکوپ نوری در موش، آتروفی و لایه همبندی بافت بیضه و هیپرکروماتینی هسته‌ها و نکروز آن‌ها، کاهش ضخامت لایه همبندی و از بین رفتن لایه‌های سلول‌های اسپرماتیدی در بافت بیضه گزارش شده است [۱۴].

مطالعه خیاط و همکاران در سال ۲۰۱۱ با موضوع تأثیر امواج الکترومغناطیسی بر روی بافت کلیه با دیدگاه اثرات هیستوپاتولوژیکی در موش رت [۲۲] و پژوهشی دیگری توسط توردی و همکاران در سال ۲۰۱۷ بر روی تغییرات بیوشیمیایی و پاتولوژیکی کلیه و مثانه تحت تأثیر امواج الکترومغناطیسی ۹۰۰ مگاهرتز بر روی رت نر صورت گرفت [۲۳]. هر دو مطالعه تغییرات

بافت مثانه و میزناهی

لایه بازال ممبران که زیر لایه پوششی مثانه و میزناهی در غشای آندوتلیومی عروق قرار دارد، آسیب دیده و در قسمت‌هایی از بین رفته بود. در بافت‌های عضلانی، همبندی و پوششی، اکثر سلول‌ها در طبقات مختلف دچار دژنراسیون و خرد شدن هسته‌ها و نکروز سلولی در بافت بوده و همراه با بی‌نظمی بافتی در زیر لایه پوششی، همبندی و عضلانی با ایجاد شدن فضاهای خالی، قابل مشاهده است. در تحقیقاتی که از سال ۱۹۸۲ تا دهه اخیر انجام شده تأثیر رادیکال‌های آزاد در آسیب‌های بافتی متعاقب مواجهه با امواج الکترومغناطیسی در مدل‌های آزمایشگاهی به اثبات رسیده است [۱۴-۱۶].

در مطالعات انجام شده اثرات مخرب امواج الکترومغناطیسی بر روند اسپرماتوژنز در موش صحرایی گزارش شده است، از جمله ارپک و همکاران در مطالعه خود در سال ۲۰۰۷ اثرات سوء میدان‌های الکترومغناطیسی را بررسی کرده‌اند و تأثیر سوء آن بر اندام‌های تولید مثل موش صحرایی و نکروز در لایه‌های مختلف سلول‌های اسپرماتوژنز و ایجاد تغییرات شدید دژنراتیو بر لوله‌های اسپرم‌ساز^۲ را نشان داده‌اند [۸]. مطالعه کالندر و همکاران در سال ۲۰۰۲، اثرات مخرب امواج الکترومغناطیسی را بر روند اسپرماتوژنز در موش‌های صحرایی نشان داده است. در مطالعه ارپک به نظر می‌رسد امواج الکترومغناطیسی با مکانیسم دیگری، یعنی با افزایش دما (هیپرترمی) سبب افزایش جریان خون و پرخونی عروقی و نهایتاً نکروز مرگ سلولی می‌شود. حتی مطالعاتی در حوزه القای آپوپتوزیس وجود دارد. تأثیر امواج الکترومغناطیسی در مورد سلول‌ها با بحث رسانا و غیررسانا بودن بافت‌ها به صورت نسبی، نسبت به نفوذپذیری امواج الکترومغناطیسی متفاوت است. اصولاً مکانیسم تأثیر حرارت تحت تأثیر امواج الکترومغناطیسی در ایجاد آپوپتوزیس در داخل سلول‌ها نقش دارد [۱۹، ۱۸]. مکانیسم دوم در القای آپوپتوزیس شامل تأثیرات امواج الکترومغناطیسی به‌طور

3. World Health Organization (WHO)

2. Seminiferous duct

تشکر و قدردانی

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز برای حمایت مالی تشکر و قدردانی می کنند...

شدید هیستوپاتولوژیکی ادم، پرخونی و خونریزی و احتقان عروق سیاهرگی در بافت اصلی و آتروفی گلومرول‌ها و واکوئولاسیون و دژنراسیون و نکروز سلول‌های اپی‌تلیال در توپول‌های کلیوی را گزارش کردند. علاوه بر آن لایه بازال ممبران در قسمت‌هایی از اطراف رگ خونی از بین رفته بود و با گسستگی‌هایی در لایه‌های سلولی اندوتلیال عروقی همراه بوده است. با ایجاد شدن فضاهای خالی در بافت مثانه و نکروز سلولی در بخش‌های عضلانی و همبندی و پوششی بافت، بی‌نظمی بافتی و ایجاد شدن فضاهای خالی در زیر لایه پوششی و همبندی و عضلانی و القای آپوپتوز در بافت‌های مثانه و کلیه در رت را گزارش کردند. نتایج تحقیق حاضر با مطالعات دیگر درباره تأثیر اثرات زیان‌بار امواج الکترومغناطیسی در بافت‌ها و سلول‌های مختلف هم خوانی دارند.

نتیجه‌گیری

امواج الکترومغناطیسی امواج پرانرژی و شایعی هستند که در محیط زندگی روزمره ما می‌توانند به‌صورت پراکنده حضور داشته باشند و بر روی سلول‌ها و بافت‌های حیاتی آسیب‌های جدی وارد کنند. حتی نتایج و تغییرات سلولی در تصاویر میکروسکوپی نیز به‌صورت انکارناپذیر بر روی کلیه و مثانه و غیره مشاهده شد. بنابراین توصیه می‌شود جهت حفظ سلامتی خود حتی‌الامکان از منابع تابش این امواج اجتناب و دوری شود. پیشنهاد می‌شود برای بررسی نتایج تکمیلی اثرات امواج الکترومغناطیسی و تأثیرات حاصله آن مطالعات تکمیلی و دقیق‌تر دیگری صورت گیرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مطالعه براساس دستورالعمل کار با حیوانات آزمایشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز و دانشگاه علوم پزشکی تبریز انجام شد.

حامی مالی

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز انجام شد.

مشارکت نویسندگان

مفهوم‌پردازی، روش‌شناسی و نظارت: شهرام قراچورلو؛ گردآوری اطلاعات: شهرام قراچورلو و امیرافشین خاکی؛ تجزیه و تحلیل داده‌ها: حمید میرزایی؛ تأمین مالی، منابع، بررسی، نگارش پیش‌نویس اصلی و ویرایش: همه نویسندگان.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

References

- [1] Hanafy LK, Karam SH, Saleh A. The adverse effects of mobile phone radiation on some visceral organs. *Research Journal of Medicine and Medical Sciences*. 2010; 5(1):95-9. [\[Link\]](#)
- [2] Koren G. Exposure to electromagnetic fields during pregnancy. *Canadian Family Physician*. 2003; 49(2):151. [\[Link\]](#)
- [3] Khaki AA, Khaki A, Gharachour LS, Khourshidi F, Taj An, Madinei N. Pre and post natal exposure of 50 Hz electromagnetic fields on prostate glands of rats: An electron microscopy study. *Iranian Journal of Reproductive Medicine*. 2008; 6(2):77-82. [\[Link\]](#)
- [4] Regel SJ, Tinguely G, Schuderer J, Adam M, Kuster N, Landolt HP, et al. Pulsed radio-frequency electromagnetic fields: Dose-dependent effects on sleep, the sleep EEG and cognitive performance. *Journal of Sleep Research*. 2007; 16(3):253-8. [\[DOI:10.1111/j.1365-2869.2007.00603.x\]](#) [\[PMID\]](#)
- [5] Schlote T, Kadner G, Freudenthaler N. Marked reduction and distinct patterns of eye blinking in patients with moderately dry eyes during video display terminal use. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2004; 242(4):306-12. [\[PMID\]](#)
- [6] Bayazit V. Evaluation of potential carcinogenic effects of electromagnetic fields (EMF) on tissue and organs. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2009; 3(2):1043-59. [\[Link\]](#)
- [7] Odacı E, Ünal D, Mercantepe T, Topal Z, Hancı H, Türedi S, et al. Pathological effects of prenatal exposure to a 900 MHz electromagnetic field on the 21-day-old male rat kidney. *Biotechnic & Histochemistry*. 2015; 90(2):93-101. [\[DOI:10.3109/10520295.2014.947322\]](#) [\[PMID\]](#)
- [8] Erpek S, Bilgin MD, Dikicioglu E, Karul A. The effects of low frequency electric field in rat testis. *Revue de médecine vétérinaire*. 2007; 158(4):206-12. [\[Link\]](#)
- [9] Lerchl A, Krüger H, Niehaus M, Streckert JR, Bitz AK, Hansen V. Effects of mobile phone electromagnetic fields at nonthermal SAR values on melatonin and body weight of Djungarian hamsters (*Phodopus sungorus*). *Journal of Pineal Research*. 2008; 44(3):267-72. [\[DOI:10.1111/j.1600-079X.2007.00522.x\]](#) [\[PMID\]](#)
- [10] Bagi CM, Berryman E, Moalli MR. Comparative bone anatomy of commonly used laboratory animals: Implications for drug discovery. *Comparative Medicine*. 2011; 61(1):76-85. [\[PMID\]](#)
- [11] Bancroft JD, Stevens A. *Theory and practice of histological techniques*. London: Churchill Livingstone; 2008. [\[Link\]](#)
- [12] Eidi A, Eidi M, Al-Ebrahim M, Rohani AH, Mortazavi P. Protective effects of sodium molybdate on carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in rats. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2011; 25(1):67-71. [\[PMID\]](#)
- [13] Sharma P, Singh D, Dixit J, Singh MK, Kumar N. Histological grading systems of epithelial dysplasia & squamous cell carcinoma. *Journal of Oral Medicine, Oral Surgery, Oral Pathology and Oral Radiology*. 2015; 1(1):7-20. [\[Link\]](#)
- [14] Oktem F, Ozguner F, Mollaoglu H, Koyu A, Uz E. Oxidative damage in the kidney induced by 900-MHz-emitted mobile phone: Protection by melatonin. *Archives of Medical Research*. 2005; 36(4):350-5. [\[DOI:10.1016/j.arcmed.2005.03.021\]](#) [\[PMID\]](#)
- [15] Khaki A, Tubbs R, Shoja MM, Rad J, Khaki A, Farahani R, et al. The effects of an electromagnetic field on the boundary tissue of the seminiferous tubules of the rat: A light and transmission electron microscope study. *Folia Morphologica*. 2006; 65(3):188-94. [\[Link\]](#)
- [16] Löscher W. Do cocarcinogenic effects of ELF electromagnetic fields require repeated long-term interaction with carcinogens? Characteristics of positive studies using the DMBA breast cancer model in rats. *Bioelectromagnetics*. 2001; 22(8):603-14. [\[DOI:10.1002/bem.90\]](#) [\[PMID\]](#)
- [17] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Physics*. 2010; 99(6):818-36. [\[DOI:10.1097/HP.0b013e3181f06c86\]](#) [\[PMID\]](#)
- [18] Topal Z, Hancı H, Mercantepe T, Erol HS, KELEŞ ON, Kaya H, et al. The effects of prenatal long-duration exposure to 900-MHz electromagnetic field on the 21-day-old newborn male rat liver. *Turkish Journal of Medical Sciences*. 2015; 45(2):291-7. [\[DOI:10.3906/sag-1404-168\]](#) [\[PMID\]](#)
- [19] Nandi AK, Samanta S, Maity S, Sen IK, Khatua S, Devi KS, et al. Antioxidant and immunostimulant β -glucan from edible mushroom *Russula albonigra* (Krombh.) Fr. *Carbohydrate Polymers*. 2014; 99:774-82. [\[DOI:10.1016/j.carbpol.2013.09.016\]](#) [\[PMID\]](#)
- [20] Sinha Hikim AP, Swerdloff RS. Hormonal and genetic control of germ cell apoptosis in the testis. *Reviews of Reproduction*. 1999; 4(1):38-47. [\[DOI:10.1530/ror.0.0040038\]](#) [\[PMID\]](#)
- [21] Tenorio BM, Jimenez GC, Morais RN, Torres SM, Albuquerque Nogueira R, Silva Junior VA. Testicular development evaluation in rats exposed to 60 Hz and 1 mT electromagnetic field. *Journal of Applied Toxicology*. 2011; 31(3):223-30. [\[PMID\]](#)
- [22] Khayyat LI. The histopathological effects of an electromagnetic field on the kidney and testis of mice. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2011; 5:103-9. [\[Link\]](#)
- [23] Türedi S, Kerimoğlu G, Mercantepe T, Odacı E. Biochemical and pathological changes in the male rat kidney and bladder following exposure to continuous 900-MHz electromagnetic field on post-natal days 22-59. *International Journal of Radiation Biology*. 2017; 93(9):990-9. [\[PMID\]](#)
- [24] Tenuzzo B, Chionna A, Panzarini E, Lanubile R, Tarantino P, Jeso BD, et al. Biological effects of 6 mT static magnetic fields: A comparative study in different cell types. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*. 2006;27(7):560-77. [\[DOI:10.1002/bem.20252\]](#) [\[PMID\]](#)

This Page Intentionally Left Blank