

دراسة مرضية لتأثير المجال الكهرومغناطيسي الراديوي بكثافات قدرة
واطئة على ذكور الجرذان البيضاء

* صموئيل اوشعنا يوخنا و* كرم هاشم الملاح و** عاصم عبد الكريم عزوز
* فرع علم الامراض، كلية الطب البيطري، جامعة الموصل.
** قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة الموصل.
الموصل- العراق.

(الأستلام: 12 أيلول، 2006؛ القبول: 18 نيسان، 2007)

الخلاصة

صممت هذه الدراسة للتحري عن التأثيرات المرضية المحتملة التي تحدثها كثافات القدرة الواطئة من المجال الكهرومغناطيسي الراديوي بتردد 2.45 ميكا هرتز في ذكور الجرذان البالغة عند تعرضها لهذا النوع من الإشعاع . إستخدم في هذه الدراسة 36 جرذاً بالغاً بعمر 3-4 أشهر حيث قسمت عشوائياً الى 6 مجاميع و بواقع 6 حيوانات لكل مجموعة. عرضت المجاميع الأولى و الثانية والثالثة و الرابعة و الخامسة الى المجال الكهرومغناطيسي الراديوي بتردد 2.45 ميكا هرتز وبكثافات قدرة 5 ملي واط/سم² ، 1 ملي واط/سم² ، 500 مايكرو واط/سم² ، 50 مايكرو واط/سم² و 10 مايكرو واط/سم² على التوالي. بينما تركت المجموعة السادسة لتمثل مجموعة سيطرة غير معرضة. أستلمت المجاميع المعرضة 6 ساعات من التعريض يومياً ولمدة 21 يوماً مثلت فترة التعريض تم خلالها تسجيل العلامات السريرية يومياً وأخذت أوزان الجسم ودرجة الحرارة الشرجية قبل وبعد التعريض أسبوعياً و قتلت 3 حيوانات من كل مجموعة عند نهاية فترة التعريض لإجراء الصفة التشريحية و الفحص المرضي النسجي، بينما تركت 3 حيوانات أخرى لمدة 21 يوماً إضافية بدون تعريض مثلت فترة ما بعد التعريض تم بعدها إجراء الفحص المرضي العياني والنسجي لمعرفة قدرة الحيوانات على التخلص من التأثيرات المرضية الناتجة من التعرض للمجال إن وجدت. لقد ظهرت بعض العلامات السريرية عند المجاميع المعرضة وكانت على أشدها عند المجموعة الأولى تميزت بوجود تهيج عصبي خلال الساعة الأولى للتعريض مع ميل الحيوانات للخمول والسكون بعد ذلك حتى إنتهاء التعريض، ولم يلاحظ وجود فروق معنوية في معدلات الأوزان بين المجاميع المختلفة ضمن الأسبوع الواحد وعند أسابيع التجربة الثلاثة، بينما أظهرت معدلات درجات الحرارة الشرجية وجود إنخفاض معنوي بعد التعريض مباشرة عما كانت عليه قبل التعريض عند المجموعتين الأولى والثانية في نهاية الأسبوع الأول وكذلك عند المجموعة الثالثة في نهاية الأسبوع الثاني ولم تسجل إختلافات معنوية عند المجاميع الأخرى طيلة فترة التعريض . لقد لوحظ وجود بعض التغيرات المرضية عند المجموعة الأولى تمثلت بالوذمة وإحتقان الأوعية الدموية وتكاثر طفيف للسديقيات الصغيرة في الدماغ، إتهاب الرئتين والقصبات الحاد مع تتخن جدران الشرايين الرئوية، التنكس

* مستل من اطروحة دكتوراه للباحث الثاني 2006.

المخاطي وإحتقان لأوعية الدموية في الأمعاء الدقيقة بالإضافة الى الإحتقان والتورم الخلوي الحاد لظهارة النيببات الكلوية وكانت هذه التغيرات أقل شدة عند المجموعتين الثانية والثالثة بينما لم تظهر المجموعتين الرابعة والخامسة تغيرات مرضية مميزة عن مجموعة السيطرة. وتركزت التغيرات المرضية في نهاية فترة ما بعد التعريض عند المجاميع الأولى والثانية والثالثة والتي أظهرت حالة إلتهاب الرئة والقصابات مع وجود التتسكس المخاطي للأمعاء الدقيقة وكانت التغيرات أقل شدة مما لوحظ عند نهاية فترة التعريض.

PATHOLOGICAL STUDY OF THE EFFECT OF RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD WITH LOW POWER DENSITIES ON MALE ALBINO RATS

S. O. Youkhana*, K. H. Al-Mallah* and A. A. Azooz**

*Department of Pathology ,Collage of Veterinary Medicine

**Department of Physics ,Collage of Science.

University of Mosul. Mosul-Iraq.

ABSTRACT

This study designed to detect pathological effects of exposure to 2.45 MHz radiofrequency electromagnetic field with low power densities on mature male albino rats. 36 rats at 3-4 months age were used in the study, randomly divided to 6 groups with 6 animals for each group. The groups from 1-5 were exposed to 2.45 MHz radiofrequency electromagnetic field with different power densities : (5 MW/cm² , 1 MW/cm² , 500 µW/cm² , 50 µW/cm² and 10 µW/cm², respectively). The 6th group represented non exposed control group. The exposed groups received 6 hours of exposure daily for 21 days as an exposure period. Clinical signs were observed daily and body weight and rectal temperature were monitored weekly. At the end of exposure period 3 animals were killed from each group for gross and histopathological examination , the other 3 animals were left for another 21 days without exposure represented post exposure period to detect the ability of rats to recover from the induced pathological changes if existed. The results showed occurrence of clinical signs at all exposed groups and more severe at group 1 manifested by nervous excitation at 1st hour of exposure followed by depression and stagnation to the end of 6 hours of exposure. There was no significant difference between the groups in body weight averages at the 3 weeks of experiment. A significant decrease in post exposure rectal temperature comparing with pre exposure rectal temperature has been noticed at groups 1 and 2 in 1st week and at group 3 in 2nd week of experiment with no significant differences in other groups. Gross and histopathological examination at the end of exposure period revealed presence of some pathological changes at group 1 manifested by perineuronal edema, mild microglial proliferation and congestion in the brain, in lungs there was acute bronchopneumonia with pulmonary vascular arteriosclerosis, there was also mucinous degeneration in duodenal epithelium with congestion of small intestine, in kidneys there was acute cell swelling of renal tubular epithelium with congestion. These changes less severely occurred at the groups 2 and 3, the exposed groups 4 and 5 similar to control did not show any pathological changes. At the end of post exposure period, pathological

changes were detected at the groups 1,2 and 3 represented by bronchopneumonia and mucinous degeneration of small intestine .These changes were lighter than those observed at the end of exposure period .

المقدمة

تعد إشعاعات التردد الراديوي والموجات الدقيقة من أكثر أنواع الإشعاع الكهرومغناطيسي شيوعاً وإستخداماً في حياتنا العصرية حيث وفرت التقنيات الحديثة الكثير من مصادر هذه الإشعاعات كوسائل الاتصالات اللاسلكية وأجهزة البث الراديوي والتلفزيوني ذات التغطية الواسعة والهواتف النقالة وشبكات المعلومات الحاسوبية وأفران الموجات الدقيقة ذات الإستخدام المنزلي و أنظمة الرصد بالرادارات و العديد من الأجهزة الطبية المستخدمة للتشخيص أو العلاج (1). وبالتالي فقد أصبحنا نعيش بتماس دائم ومستمر مع الأمواج الكهرومغناطيسية المنبعثة من جميع هذه التطبيقات مما دفع الباحثين الى دراسة تأثيراتها الصحية على البشر والحيوانات لتجنب أضرارها المحتملة . فقد ذكر الباحثون (2،3،4) أن الإشعاع الكهرومغناطيسي الراديوي يؤثر سلباً على الخلايا العصبية الدماغية والجهاز العصبي وأشار الباحثون (5،6،7) أن هذه الإشعاعات تؤثر على الجهاز القلبي الوعائي وتغير من معدل ضربات القلب وسرعة جريان الدم في الأوعية الدموية، في حين أورد الباحثون (8،9) أنها قد تحدث الضرر في الأعضاء الحشوية كالكلب والكلى. ولم تتوفر لدينا دراسة تتناول تأثير المجال الكهرومغناطيسي الراديوي عند التردد 2.45 ميكا هرتز وبكثافات قدرة واطئة على الجسم الحي من ناحية مرضية ونسجية لذلك فقد تم تصميم الدراسة الحالية للوقوف على التأثيرات المرضية لهذا المجال إن وجدت ومعرفة قابلية الجسم على التخلص من هذه التأثيرات خلال فترة نقاهة محددة وبأستخدام ذكور الجرذان البيضاء كنموذج لهذه الدراسة.

المواد وطرائق العمل

الحيوانات المستخدمة: إستخدمت ذكور الجرذان البيض بأعمار تراوحت ما بين 3-4 أشهر. تم تربيتها في بيت الحيوانات بكلية الطب البيطري/ جامعة الموصل وفي ظروف مخبرية خاصة .

جهاز توليد المجال الكهرومغناطيسي الراديوي: تم تصميمه في قسم الفيزياء بكلية العلوم/ جامعة الموصل وقد تكون الجهاز من منظومة إلكترونية وجزء مشع يمثل قفص الجرذان التقليدي بعد ضبط المجال داخله.

أوزان الجسم: تم قياس أوزان الحيوانات بالغرام وبأستخدام ميزان ذو كفة واحدة من نوع Seca ألماني المنشأ.

درجة الحرارة الشرجية: تم إستخدام المحرار الطبي الزئبقي من نوع Artsana ألماني الصنع لقياس درجة حرارة الجسم بالدرجة المئوية عن طريق الشرج.

الصفة التشريحية: تم إجراء الصفة التشريحية لجميع الجرذان المستخدمة في الدراسة وسجلت التغيرات المرضية العيانية كما تم أخذ نماذج من أنسجة كل من الكبد ، الطحال، الكلية، الرئة، القلب، المعدة، الأمعاء، غشاء الخلب ، الدماغ و الخصية. ووضعت في محلول الفورمالين الداريء المتعادل 10% لغرض إجراء الفحوصات النسجية .

الفحص المرضي النسجي: تم معاملة العينات المحفوظة بنقطيعها إلى قطع صغيرة بحجم 1 سم³ ثم أجريت عليها عملية التمرير بالكحولات والزايلول والشمع وحضرت

منها قوالب شمعية ثم قطعت بجهاز المشراح إلى شرائح نسجية بسمك 4-6 مايكروميتر وتم صبغها بالصبغة الروتينية الهيماتوكسيلين والأيوزين (10). التحليل الإحصائي: تم تحليل البيانات الخاصة بهذه الدراسة باستخدام إختبار التصميم العشوائي الكامل وإختبار دنكان تحت مستوى معنوية 5% (11).

تصميم الدراسة: استخدم في هذه الدراسة 36 جرذاً قسمت عشوائياً إلى 6 مجاميع و بواقع 6 حيوانات لكل مجموعة. عرضت المجاميع الأولى و الثانية والثالثة و الرابعة و الخامسة إلى المجال الكهرومغناطيسي الراديوي بتردد 2.45 ميكاهرتز وبكثافات قدرة 5 ملي واط/سم²، 1 ملي واط/سم²، 500 مايكروواط/سم²، 50 مايكروواط/سم² و 10 مايكروواط/سم² على التوالي. بينما تركت المجموعة السادسة لتمثل مجموعة سيطرة غير معرضة. أستلمت المجاميع المعرضة 6 ساعات من التعريض يومياً ولمدة 21 يوماً مثلت فترة التعريض تم خلالها تسجيل العلامات السريرية يومياً وأخذت أوزان الجسم ودرجة الحرارة الشرجية قبل وبعد التعريض أسبوعياً و قتلت 3 حيوانات من كل مجموعة عند نهاية فترة التعريض لإجراء الصفة التشريحية و الفحص المرضي النسجي، بينما تركت 3 حيوانات أخرى لمدة 21 يوماً إضافية بدون تعريض مثلت فترة ما بعد التعريض تم بعدها قتل الحيوانات وإجراء الفحص المرضي العياني والنسجي.

النتائج

العلامات السريرية: ظهرت بعض العلامات السريرية على مجاميع الجرذان المعرضة للمجال الكهرومغناطيسي وكانت على أشدها عند المجموعة الأولى تميزت بحدوث تهيج عصبي خلال الساعة الأولى من التعريض والذي تمثل بزيادة النشاط الحركي. زيادة في التعرق زيادة في التحسس من الصوت والحركة. زيادة في السلوك العدائي والنشاط الجنسي مع محاولة تسلق القفص للأرتفاع والإبتعاد عن مستوى المجال الكهرومغناطيسي أعقبها فترة خمول حتى إنتهاء التعريض حيث كانت الحيوانات هادئة ومتجمعة عند حافة القفص، سهلة المسك باليد. قليلة الإستجابة للمؤثرات الخارجية مع فقدان الدقة في تحديد إتجاه الماء والعلف وسرعان ما عادت إلى الحالة الطبيعية بعد 5-10 دقائق من إنتهاء التعريض. كما لوحظ وجود زيادة كبيرة في إستهلاك العلف للحيوانات المعرضة مقارنة بحيوانات السيطرة خلال الأسبوع الأول من التعريض وعودتها إلى الحالة الطبيعية في الأسبوعين الثاني والثالث.

معدلات الأوزان الأسبوعية: يظهر الجدول (1) عدم وجود فروق معنوية بين معدلات الأوزان للمجاميع المختلفة ضمن الأسبوع الواحد طيلة فترة التعريض.

درجات الحرارة الشرجية: يظهر الجدول (2) وجود إنخفاض معنوي في معدلات درجات الحرارة الشرجية لحيوانات التجربة بعد التعريض مباشرة عما كانت عليه قبل التعريض عند المجموعتين الأولى والثانية في نهاية الأسبوع الأول وكذلك عند المجموعة الثالثة في نهاية الأسبوع الثاني ولم تسجل فروق معنوية لدرجة الحرارة قبل وبعد التعريض عند المجاميع الأخرى خلال الأسابيع الثلاثة للتعريض، أما بالنسبة لدرجات الحرارة قبل التعريض فقد لوحظ وجود تفوق معنوي للمجموعة الأولى مقارنة بمجموعة السيطرة في نهاية الأسبوعين الثاني والثالث. بينما لم تظهر المجاميع الأخرى فروقاً معنوية فيما بينها في معدلات درجات الحرارة الشرجية قبل التعريض خلال الأسابيع الثلاثة للتعريض.

التغيرات المرضية العيانية: ظهرت بعض التغيرات العيانية عند إجراء الصفة التشريحية في نهاية فترة التعريض وكانت أشدها عند المجموعة الأولى حيث لوحظ إحتقان طفيف في الكبد مع وجود مناطق شاحبة كما لوحظ إحتقان طفيف في الطحال والدماغ والأمعاء الدقيقة مع تضخم وشحوب الكليتين. كما لوحظ وجود ذات الرئة متمثلة بإحتقان شديد للرئتين مع وجود مناطق من التكبد الأحمر والنفخ الرئوي ولم تلاحظ تغيرات في الأعضاء الأخرى. وفي نهاية فترة ما بعد التعريض لم تلاحظ أية تغيرات مميزة عدا وجود حالات من التكبد الرمادي وإنكماش الرئة في بعض الحيوانات وإحتقان طفيف للأمعاء الدقيقة وظهرت هذه التغيرات بشكل أقل حدة عند المجموعتين الثانية والثالثة في حين لم يلاحظ وجود آفات مميزة للمجموعتين الرابعة والخامسة بالمقارنة مع مجموعة السيطرة عند فترتي التعريض وما بعد التعريض.

التغيرات المرضية النسجية: لوحظت التغيرات المرضية النسجية عند المجموعة الأولى في كل من الدماغ والرئتين والأمعاء الدقيقة والكبد والكليتين. حيث لوحظ وذمة حول الخلايا العصبية والأوعية الدموية مع تكاثر طفيف للدبقيات الصغيرة في الدماغ (صورة 1). كما لوحظ أيضاً إلتهاب الرئتين والقصبات الحاد متمثلاً بإحتقان شديد للأوعية الدموية وإرتشاح العدلات والخلايا اللمفية وظهور نضحة التهابية في الأسناخ الرئوية والقصبات الهوائية مع النفخ الرئوي الشديد بالإضافة إلى تتخن جدران الشرايين الرئوية (صورة 2). وفي الأمعاء لوحظ إحتقان الأوعية الدموية مع إرتشاح شديد للخلايا اللمفية وإنسلاخ ظهارة الزغابات المعوية وسقوطها في التجويف مع ظهور مراحل من التنكس المخاطي Mucinous degeneration في الخلايا الظهارية والخلايا المبطنة للغدد المعوية وعدد كبير من الخلايا الكأسية (الصورتين 3 و4). أما في الكبد فقد لوحظ إحتقان الأوعية الدموية وإرتشاح طفيف للخلايا اللمفية في الباحات البابية الكبدية مع وجود التغير الدهني الطفيف في الخلايا الكبدية (الصورة 5). وفي الكليتين لوحظ إحتقان الأوعية الدموية والتورم الخلوي الحاد لظهارة النبيبات الكلوية (الصورة 6). لوحظت هذه التغيرات وبشكل أقل شدة في المجاميع الثانية والثالثة بينما لم يلاحظ تغيرات مرضية مميزة في المجاميع الرابعة والخامسة مقارنة بمجموعة السيطرة سوى ظهور وذمة طفيفة حول الخلايا العصبية الدماغية عند المجموعة الرابعة. بينما تركزت التغيرات المرضية النسجية في نهاية فترة ما بعد التعريض عند المجاميع الأولى والثانية والثالثة في كل من الرئتين و الأمعاء الدقيقة. حيث لوحظ وجود إلتهاب الرئة والقصبات مع نضحة ليفينية في الأسناخ الرئوية وإرتشاح خلايا لمفية وإحتقان الأوعية الدموية. أما في الأمعاء الدقيقة فقد لوحظ وجود التنكس المخاطي وإرتشاحات للخلايا اللمفية أقل شدة مما لوحظ في نهاية فترة التعريض. ولم يلاحظ وجود تغيرات مرضية مميزة للمجموعتين الرابعة والخامسة بالمقارنة مع مجموعة السيطرة.

الجدول 1: التغيرات في معدلات الأوزان الأسبوعية بين المجاميع المختلفة أثناء فترة التعريض.

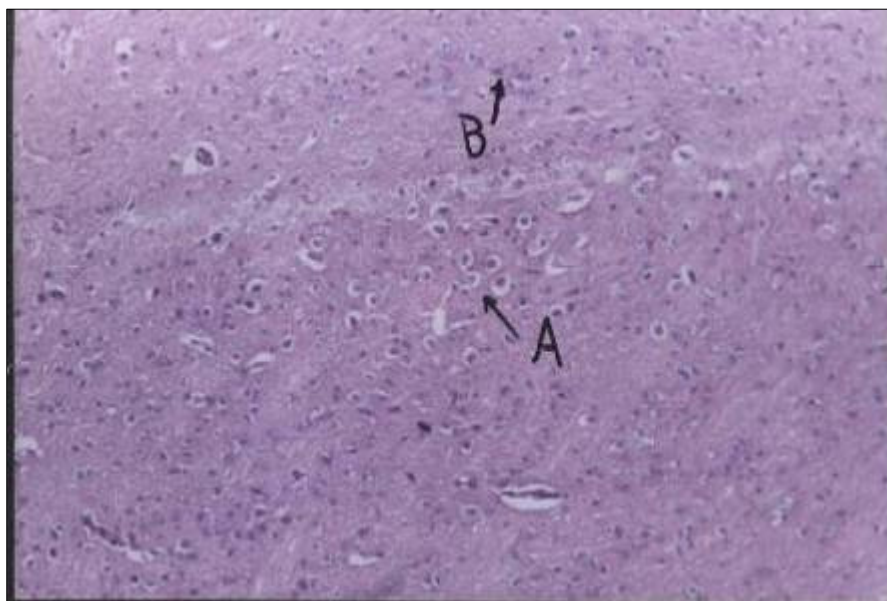
فترة التعريض				
21	14	7	1	اليوم المجموعة
A 230.3 ± 30.8	A 213.6 ± 33.1	A 201.8 ± 30.5	A 186.6 ± 28.2	السيطرة غير معرضة للمجال الكهرومغناطيسي
A 262.6 ± 12.5	A 245.8 ± 10.2	A 218.8 ± 12.5	A 182.6 ± 8.3	الأولى معرضة للمجال الكهرومغناطيسي عند التردد 2.45 ميكا هرتز وبكثافة قدرة 5 ملي واط/سم ²
A 239.8 ± 10.2	A 229 ± 11.7	A 207.5 ± 13.1	A 188.3 ± 14.8	الثانية معرضة للمجال الكهرومغناطيسي عند التردد 2.45 ميكا هرتز وبكثافة قدرة 1 ملي واط/سم ²
A 247.1 ± 10.1	A 226.3 ± 12.4	A 203.0 ± 12.6	A 189.1 ± 13.6	الثالثة معرضة للمجال الكهرومغناطيسي عند التردد 2.45 ميكا هرتز وبكثافة قدرة 500 مايكرو واط/سم ²
A 242.5 ± 23.4	A 227.5 ± 20.6	A 209.6 ± 17.8	A 187.1 ± 10.5	الرابعة معرضة للمجال الكهرومغناطيسي عند التردد 2.45 ميكا هرتز وبكثافة قدرة 50 مايكرو واط/سم ²
A 246.6 ± 21.8	A 229.8 ± 21.1	A 215.8 ± 21.1	A 189.5 ± 19.6	الخامسة معرضة للمجال الكهرومغناطيسي عند التردد 2.45 ميكا هرتز وبكثافة قدرة 10 مايكرو واط/سم ²

معدل الأوزان (غرام) ± الإنحراف القياسي.

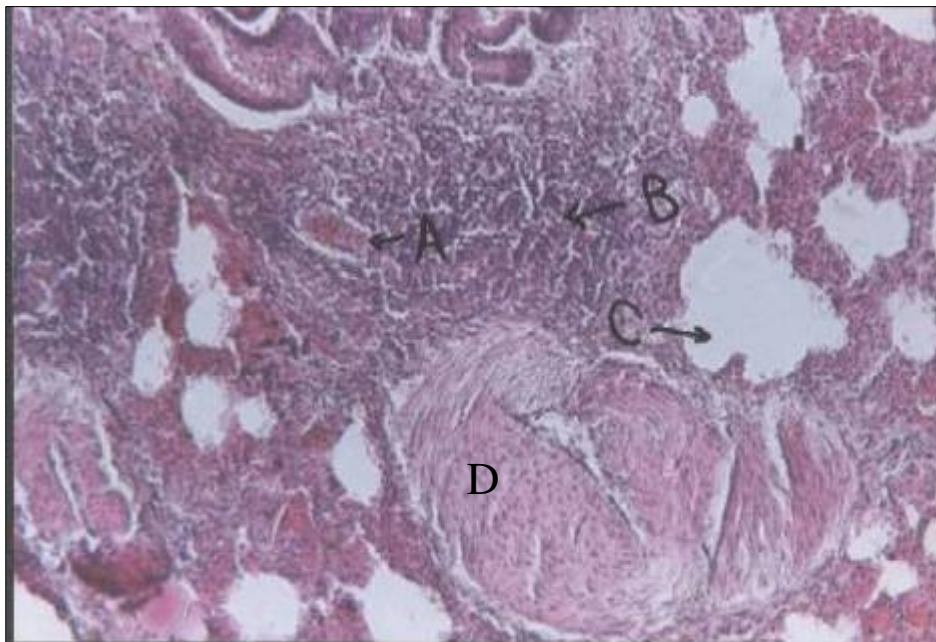
جدول 2: معدلات درجات الحرارة الشرجية قبل وبعد التعريض بين المجاميع المختلفة للتجربة.

فترة التعريض				
21	14	7	1	اليوم المجموعة
A 230.3 ± 30.8	A 213.6 ± 33.1	A 201.8 ± 30.5	A 186.6 ± 28.2	السيطرة غير معرضة للمجال الكهرومغناطيسي
A 262.6 ± 12.5	A 245.8 ± 10.2	A 218.8 ± 12.5	A 182.6 ± 8.3	الأولى معرضة للمجال الكهرومغناطيسي عند التردد 2.45 ميكا هرتز وبكثافة قدرة 5 ملي واط/سم ²
A 239.8 ± 10.2	A 229 ± 11.7	A 207.5 ± 13.1	A 188.3 ± 14.8	الثانية معرضة للمجال الكهرومغناطيسي عند التردد 2.45 ميكا هرتز وبكثافة قدرة 1 ملي واط/سم ²
A 247.1 ± 10.1	A 226.3 ± 12.4	A 203.0 ± 12.6	A 189.1 ± 13.6	الثالثة معرضة للمجال الكهرومغناطيسي عند التردد 2.45 ميكا هرتز وبكثافة قدرة 500 مايكرو واط/سم ²
A 242.5 ± 23.4	A 227.5 ± 20.6	A 209.6 ± 17.8	A 187.1 ± 10.5	الرابعة معرضة للمجال الكهرومغناطيسي عند التردد 2.45 ميكا هرتز وبكثافة قدرة 50 مايكرو واط/سم ²
A 246.6 ± 21.8	A 229.8 ± 21.1	A 215.8 ± 21.1	A 189.5 ± 19.6	الخامسة معرضة للمجال الكهرومغناطيسي عند التردد 2.45 ميكا هرتز وبكثافة قدرة 10 مايكرو واط/سم ²

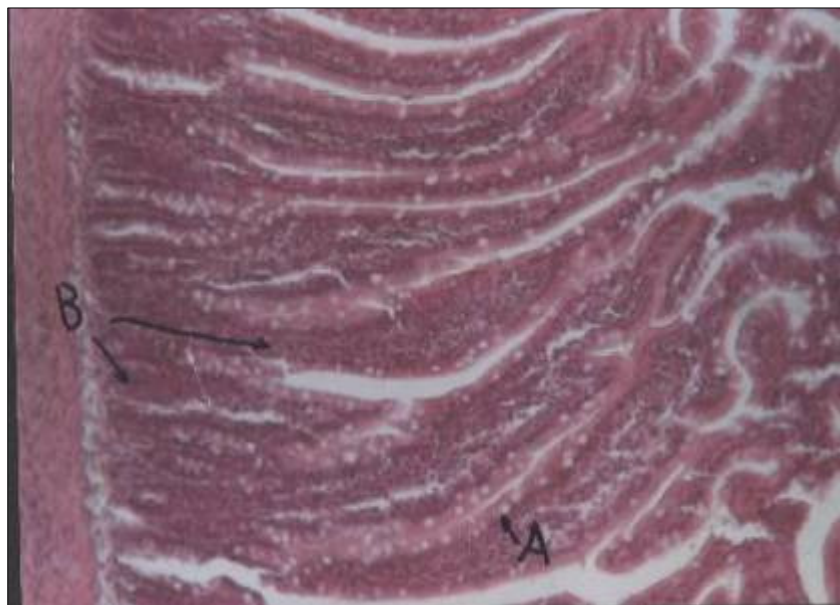
معدلات درجات الحرارة (درجة مئوية) ± الإنحراف القياسي



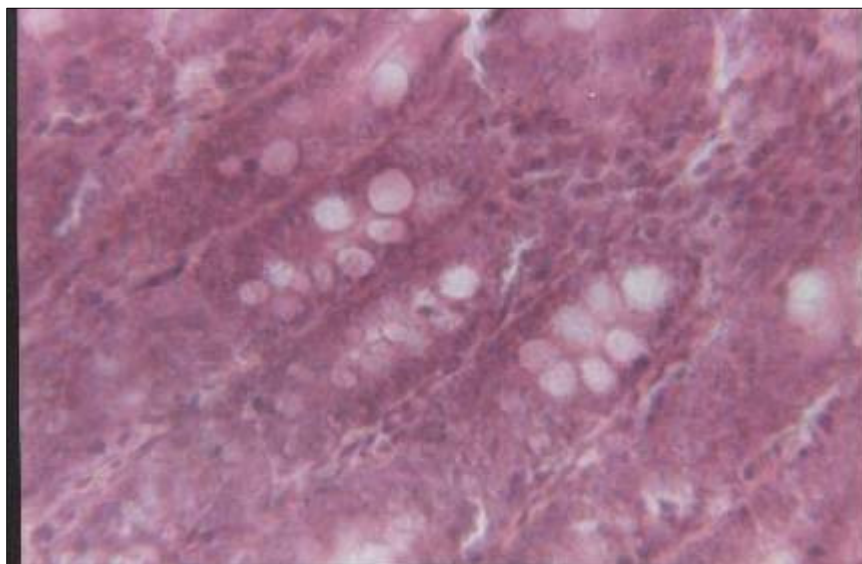
الصورة (1): مقطع في الدماغ (المخ) لجرذ من المجموعة الأولى عند نهاية فترة التعريض يوضح وذمة حول الخلايا العصبية والأوعية الدموية (A). مع تكاثر طفيف للدبقيات الصغيرة (B). الصبغة H & E قوة التكبير 40X



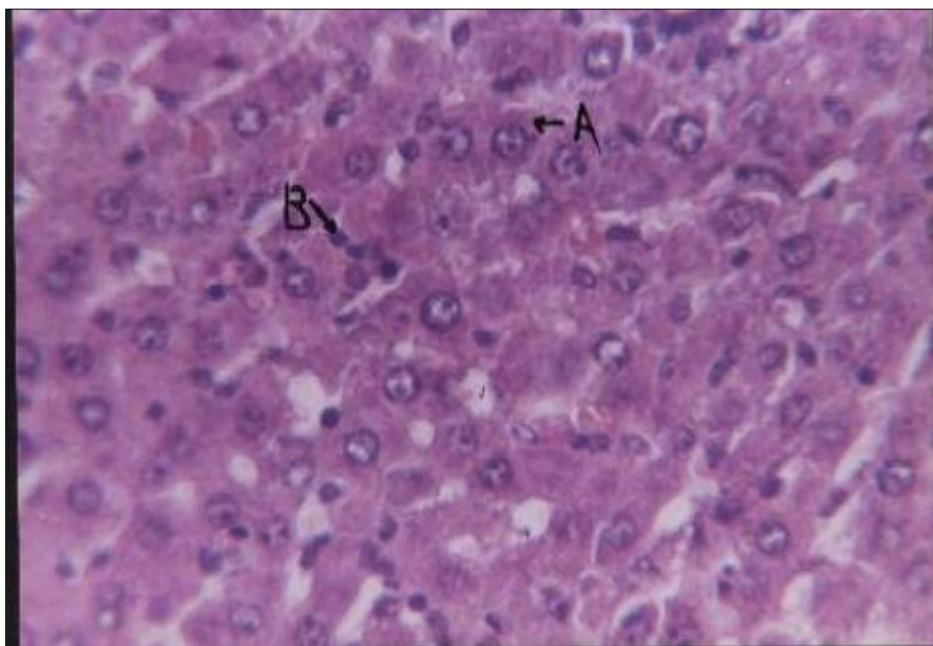
الصورة (2): مقطع في الرئة لجرذ من المجموعة الأولى عند نهاية فترة التعريض يوضح احتقان الأوعية الدموية (A). وارتشاح الخلايا الالتهابية والسوائل الخزبية في الاسناخ الرئوية (B). مع ظهور حالة النفاخ الرئوي (C) وظهور حالة تتخن جدران الشرايين (D) نتيجة لضخامة الالياف العضلية. الصبغة H & E قوة التكبير 100X



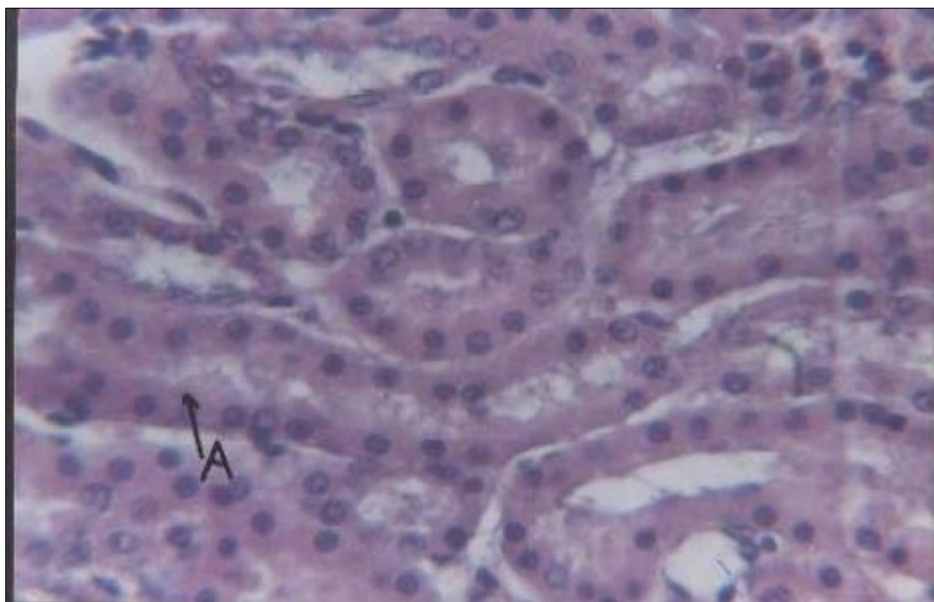
الصورة (3): مقطع في الامعاء لجرذ من المجموعة الأولى عند نهاية فترة التعريض يوضح وجود مراحل من التنكس المخاطي في هيولي الخلايا المبطنة للزغابات ووجود العديد من الخلايا الكأسية (A). مع ارتشاحات للخلايا اللمفية في طبقات الأمعاء (B) الصبغة H & E قوة التكبير 100X



الصورة (4): صورة مكبرة للصورة (3) توضح التنكس المخاطي للأمعاء الدقيقة . الصبغة H & E قوة التكبير 400 X



الصورة (5): مقطع في الكبد لجرذ من المجموعة الأولى عند نهاية فترة التعريض
يوضح التتسكس الفجوي في هيولي الخلايا الكبدية (A). مع ارتشاح طفيف
للخلايا اللمفية (B). الصبغة H & E قوة التكبير 400 X



الصورة (6): مقطع في الكلية لجرذ من المجموعة الأولى عند نهاية فترة التعريض يوضح
التورم الخلوي الحاد في خلايا النبيبات الكلوية (A).
الصبغة H & E قوة التكبير 400 X

المنافشة

لقد لوحظ من العلامات السريرية وجود زيادة في النشاط الحركي والتهيج عند كافة المجاميع المعرضة خلال الساعة الأولى للتعريض مع الميل للخمول والسكون بعد ذلك حتى انتهاء فترة التعريض لتعود بعدها الى الحالة الطبيعية، وهذا يؤكد ما ذكره الباحثان (12) بكون الفئران المعرضة للمجال المغناطيسي بتردد 60 هرتز قد أظهرت زيادة ملحوظة في الفعالية الحركية والاهتياج العصبي عند بداية التعريض وقلّة في الاستجابة الحركية والميل الى الخمول مع تقدم الزمن بفترات التعريض وكذلك مع ما اورده (13) بأن الجرذان تدخل الى حالة من الخمول او السبات عند التعرض للمجال الكهربائي بتردد 60 هرتز لفترة طويلة ، وكذلك يشابه نتائج الباحثة (14) التي لاحظت زيادة في الفعالية الحركية في نهاية الأسبوع الأول للتعريض بعد تعريض الجرذان للتردد 1.2 ميكا هرتز وثلاث ساعات يومياً مع إنخفاض غير معنوي للفعالية الحركية في نهاية الأسبوع الثاني و إنخفاض معنوي للفعالية الحركية في نهاية الأسبوع الثالث للتعريض . وقد يعود السبب في ذلك الى تأثيرات المجال الكهرومغناطيسي على الجهاز العصبي المركزي من خلال تحفيزه للأفيونات الداخلية في الدماغ (15). وكذلك تأثيره على فعالية خميرة الاسيتايل كولين والتي تزداد عند التعرض لاشعاع التردد الراديوي لفترة قصيرة تبدأ بعدها بالانخفاض في مناطق مختلفة من دماغ الجرذان عند استمرار التعريض (16)، وقد يعزى السبب أيضاً الى التأثيرات المحدثة بالمجال على تغيير النسق اليومي لانتاج الميلاتونين من قبل الغدة الصنوبرية والذي يؤدي غالباً الى تثبيط النشاط وإحداث الكآبة (17). إن ملاحظة الزيادة في استهلاك العلف عند المجاميع المعرضة خلال الأسبوع الأول ربما يكون مرتبطاً بارتفاع مستوى الأيض عند تلك الحيوانات والذي قد ينتج من التهيج العصبي فضلاً عن التأثيرات المحدثة على الجهاز القلبي الوعائي ولاسيما تنشيط الدورة الدموية الدقيقة في الجلد والاطراف (18). وان هذه الزيادة ربما كانت مرتبطة بتغيرات الأيض المترافقة مع افراز الستيرويدات القشرية عند التعرض للمجال عن طريق احداث التهيج العصبي وحث الغدة النخامية على تحفيز افراز هذه المركبات من الغدة الكظرية والذي يعكس حالة الكرب التي يسببها اشعاع التردد الراديوي (19). وبافتراض أن هذه الأستجابة تقل تدريجياً مع تعود الحيوانات على نظام التعريض اليومي فإن ذلك قد يفسر عودة الحيوانات الى الحالة الطبيعية في استهلاك العلف مع بداية الأسبوع الثاني من التعريض. إن عدم وجود فروق معنوية في معدلات الاوزان الاسبوعية لمجاميع التجربة ضمن كل أسبوع على حدة يتفق مع ما اورده (20) من أن تعريض مجاميع من الجرذان لاشعاع التردد الراديوي وبترددات واطئة لفترة زمنية طويلة لا يحدث فرقاً معنوياً في اكتساب الوزن اليومي بالمقارنة مع الجرذان غير المعرضة. لقد أظهرت النتائج أيضاً وجود انخفاض معنوي في معدلات درجات الحرارة الشرجية عند المجموعتين الأولى والثانية في نهاية الأسبوع الأول من التعريض وكذلك عند المجموعة الثالثة في نهاية الأسبوع الثاني من التعريض عند قياسها بعد انتهاء التعريض مباشرة عما كانت عليه قبل التعريض بينما لم تظهر المجاميع الأخرى فروقات معنوية تذكر و هذه النتائج لا تتفق مع ما عرف عن تأثير إشعاع التردد الراديوي في رفعه لدرجة حرارة الجسم والمواد الحيوية المعرضة له (21 و 22). ان تعريض الجرذان لمجال إشعاع التردد الراديوي يضيف

بالضرورة طاقة حرارية الى الجسم متمثلة بمعدل الامتصاص النوعي والتي تبقى مستمرة طيلة فترة التعريض لذا فإن الانخفاض المسجل في درجة الحرارة عند حيوانات المجاميع الأولى والثانية والثالثة يمكن أن يعزى الى الانخفاض في معدل انتاج الحرارة داخل الجسم بعد 6 ساعات متصلة من التعريض وقد يتعلق ذلك باحداث الكرب على الجهاز العصبي والذي قد يسبب دخول الحيوانات الى حالة من الخمول او السبات (13) حيث ينخفض معه بالضرورة معدل انتاج الطاقة الحرارية الايضية في الجسم وهذا التفسير تؤيده ظهور العلامات السريرية المتمثلة بالخمول المترافق مع استمرار التعريض خاصة عند المجاميع المعرضة لكثافات قدرة أعلى، وان 6 ساعات من التعريض قد تكون كفيلة أيضاً بتفعيل آليات التنظيم الحراري في الجسم من أجل احتواء الزيادة في الطاقة الحرارية المتمثلة بمعدل الامتصاص النوعي لطاقة الأشعاع مما قد يسبب ثبات درجة الحرارة وعدم ظهور فروق معنوية لدرجة الحرارة قبل وبعد التعريض كما لوحظ عند المجاميع المعرضة الأخرى و إن التفوق المعنوي للمجموعة الأولى عن مجموعة السيطرة في معدل درجات الحرارة الشرجية المأخوذة صباحاً او قبل التعريض للأسبوعين الثاني والثالث من فترة التعريض قد يكون مرتبطاً مع تطور حالة التهاب الرئة والقصبات وهو ما أثبتته الفحوصات المرضية العيانية والنسجية لهذه المجموعة وإن هذه التغيرات المرضية قد تكون مسؤولة عن الارتفاع في درجة حرارة الجسم.

لقد أظهرت الفحوصات المرضية العيانية والنسجية وجود تغيرات مرضية في نهاية فترة التعريض تركزت عند المجموعة الأولى وظهرت بشكل أقل شدة عند المجموعتين الثانية والثالثة ولوحظ اختفاء معظمها باستثناء التهاب الرئة والقصبات والذي لوحظ مراحل من الشكل المزمن له و التتسكس المخاطي في الامعاء الدقيقة في نهاية فترة ما بعد التعريض لهذه المجاميع الثلاثة. إن ظهور هذه التغيرات المرضية جاءت متفقة مع ما ذكره (23) من أن التعرض المزمن لأشعاع التردد الراديوي يمكن أن يؤدي الى ظهور الأمراض التتسكية العصبية في الدماغ وكذلك مع ما وجدته (24) من أن تعريض الجرذان الى مجال اشعاع التردد الراديوي بتردد 20 ميكاهرتز لمدة 6 ساعات يومياً لمدة 6 أسابيع يؤدي الى تطور التهاب الرئة الشديد المتميز بالآفات النخرية وارتشاح الخلايا البلعمية واللمفية و أن هذه الآفات النسجية هي آفات مميزة لاصابة الجهاز التنفسي بالمايكوبلازما، ويمكن اعتبار التغيرات التتسكية الطفيفة في كل من الكبد والكلية والأمعاء الدقيقة لحيوانات المجاميع الأولى والثانية والثالثة مخففة لما لوحظ من آفات في هذه الاعضاء بسبب التعرض لأشعاع التردد الراديوي في دراسات اخرى استخدمت المجال بتردد وكثافة طاقة عاليتين، فقد لاحظ (25) ان كوي الاورام السرطانية في الكبد باشعاع الموجات الدقيقة يسبب التخر في خلايا الورم بسبب الحرارة بينما تحاط المنطقة المعالجة بنطاق من الخلايا الكبدية ذات سايتوبلازم اكثر حامضية من المعتاد وانوية تصطبغ بشدة بالهيماتوكسلين لوحظت خلال يومين بعد اعطاء العلاج وان هذه الخلايا تكون سالبة لإختبارات الفعالية الانزيمية النسجية وموجبة لإختبار المستضدية بالـ $Na^+ - K^+ - ATP$ ase مما يشير الى ان هذا النطاق من الخلايا سوف يواجه النخر. وذكر (9) ان تعريض الجرذان لأشعاع الموجات الدقيقة بكثافة قدرة 2.65 ملي واط/سم² وبتردد 9450 ميكاهرتز لساعة واحدة يومياً ولمدة 26 و 52 يوماً على التوالي يسبب التتسكس الفجوي للخلايا المبطنة للنبيب الكلوي وتغيرات تتسكية في الكبيبات الكلوية عند مدتي التجربة. إن ما لوحظ من التغيرات التتسكية للخلايا العصبية والخلايا الدبقية في الدماغ قد يعزى الى تأثيرات اشعاع التردد الراديوي الجينية ودوره في توليد الجذور الحرة وإحداث

الاجهاد التأكسدي ، فقد وجد الباحثان (2) أن هنالك زيادة في تكسر الخيط المفرد وكذلك المزدوج للـDNA في خلايا دماغ الجرذان بعد التعرض لأشعاع التردد الراديوي وان المقدرة المحدودة للخلايا العصبية في اصلاح هذه التكرسات تسبب تأثيراً تركمياً من تلف الـDNA. ولاحظ الباحثان (3) ان معالجة الجرذان بكواسح الجذور الحرة يوقف تأثير اشعاع التردد الراديوي على DNA خلايا دماغ الجرذان وبالتالي فقد اقترح ان اشعاع التردد الراديوي يحدث تأثيراته الجينية ويسبب تكسر خيوط الـDNA من خلال تحفيزه لفعالية الجذور الحرة في الخلايا، واكد الباحثان (26) ان التعرض للمجال الكهرومغناطيسي يسبب إرتباطات تصالبيه بين الـDNA والـDNA وبين الـDNA والبروتين والتي تزيد من موت ونخر خلايا الدماغ في الجرذان، ووجد الباحثان ان معالجة الجرذان بصائدات الحديد Iron-chelator قبل تعريضها للمجال يمنع تأثير المجال على الـDNA، ومن هذه النتائج تم افتراض أن المجال الكهرومغناطيسي يحفز آلية معتمدة على ايونات الحديد تعرف بتفاعل فنتون Fenton reaction والتي يزداد بسببها تكون جذور الهيدروكسي Hydroxy free radicals في الخلايا المعرضة مؤذية الى تكسر خيوط الـDNA وموت الخلية، إن الخلايا عالية الاحتياج لأخذ ايونات الحديد كالخلايا سريعة التكاثر او النامية والخلايا المصابة بحمات الـDNA وكذلك الخلايا ذات المعدلات الايضية العالية كالخلايا العصبية سوف تكون اكثر حساسية لتأثيرات المجال الكهرومغناطيسي، وبالنسبة للخلايا سريعة التكاثر فان أكثر اوضاعها حساسية هي في الطور الأول من دورة الانقسام للخلية عندما تكون مستقبلات الترانسفيرين Transferrin فعالة وضخ ايونات الحديد عالياً الى داخل الخلية حيث تتكون عندها جذور الهيدروكسي من بيروكسيد الهيدروجين من خلال تفاعل فنتون بوجود أيون الحديد، أما الخلايا ذات الفعالية الايضية العالية فانها تنتج عادة كميات كبيرة من بيروكسيد الهيدروجين من خلال آلية نقل الالكترونات في المايوتوكونديريا ولذلك فانها تكون اكثر حساسية عند التعرض الى المجال الكهرومغناطيسي، ومن جانب اخر فان تأثيرات مؤذية محتملة عند التعرض للمجال الكهرومغناطيسي قد تكون معتمدة على قابلية الخلايا على خزن الحديد في مركبات الفيريتين Ferritin حيث تعد الخلايا الكبدية اقل حساسية للمجال الكهرومغناطيسي بالرغم من المعدلات العالية لضخ ايونات الحديد الى داخل الخلايا وذلك بسبب احتوائها على كميات كبيرة من الفيريتين (27). وقد ينتج تأثير مجال اشعاع التردد الراديوي على الخلايا العصبية الدماغية من خلال التأثير المحتمل لهذا الاشعاع على الحواجز الدموية الدماغية مما قد يؤدي الى زيادة نفوذية هذه الحواجز حيث قد تسمح بعبور ذيفانات او مواد سامة تسبب الاذى للخلايا العصبية، فقد ذكر (7) أن تعريض نموذج مطابق للحاجز الدموي الدماغى يتكون من الخلايا النجمية للجرذان وخلايا بطانة الوعاء الدموي للخنازير الى اشعاع التردد الراديوي وبتردد 1.8 ميكاهرتز يسبب زيادة نفوذية الغشاء لمادة C-Sucrose 14 مقارنة بالنماذج غير المعرضة للاشعاع. إن دور اشعاع التردد الراديوي في زيادة انتاج الجذور الحرة يمكن ان يفسر ايضاً ما لوحظ من تغيرات تنكسية في الاعضاء الاخرى كالكبد والكليتين ، كما قد تلعب التأثيرات الحرارية لاشعاع التردد الراديوي دوراً مهماً في احداث مثل هذه التغيرات خاصة عند الاعضاء الحشوية المتنية ذات المحتوى المائي العالي بسبب قدرة هذه الانسجة على امتصاص طاقة الاشعاع بصورة اكبر من الانسجة الاخرى كالجلد او العظام عن طريق تحويل طاقة الاهتزاز في جزيئات الماء الى طاقة حرارية، فقد اورد

(22) أن تموضع الطاقة الحرارية في الجسم لا يحصل بالتساوي لكافة أجزاء الجسم وإن الاختلافات في الخواص الكهربائية والقدرة على خزن وعكس الاشعاع بين الانسجة المختلفة وحتى ضمن النسيج الواحد يمكنها ان تولد نقاط موضعية ساخنة.

إن تطور التهاب الرئة والقصبات عند المجاميع الأولى والثانية والثالثة قد يكون مؤشراً على انخفاض المناعة الطبيعية ضد العوامل الخمجية باعتبار ان السبيل التنفسي من اكثر الاجهزة تماساً مع المحيط الخارجي، وإن هذا التداعي لجهاز المناعة قد يكون ناتجاً من التعرض لاشعاع التردد الراديوي باعتبار ان هذه المجاميع تستلم كثافات قدرة اعلى من المجاميع المعرضة الاخرى . ومن الممكن كذلك ان يكون لتوليد الجذور الحرة وإحداث الاجهاد التأكسدي دوراً مهماً في إحداث التثبيط المناعي المحتمل من حيث كون خلايا البلعمات والخلايا اللمفية من الخلايا سريعة التكاثر نسبياً مما يجعلها حساسة لتاثير المجال الكهرومغناطيسي من حيث تحفيزه لتفاعل فنتون وتوليد لجذور الهيدروكسي في هذه الخلايا (3)، وهذا يتفق مع ما اورده (25) من ان الخلايا اللمفية للجردان المنمأة على المزارع الخلوية المضاف لها أيونات الحديد وعند تعريضها الى اشعاع التردد الراديوي بتردد 930 ميكاهرتز ومعدل امتصاص نوعي 1.5 واط/كغم لمدة 5 أو 15 دقيقة تظهر زيادة معنوية في مستوى جذور الاوكسجين الحرة عند فترتي التعريض المستخدمة قياساً بالخلايا اللمفية غير المعرضة للاشعاع وأن تاثيرات مؤذية للخلايا المعرضة قد تم ملاحظتها بضمنها تلف الـDNA، بالاضافة الى ما لاحظته (29) من وجود أدلة على حدوث الجهد التأكسدي في الخلايا البلعمية للفئران في المزارع الخلوية بعد تعريضها لاشعاع التردد الراديوي بتردد 847.7 وبمعدل امتصاص نوعي 0.8 واط/كغم لمدة 20 - 22 ساعة متصلة. ومن المحتمل أن يكون التداخل مع وظيفة الجهاز المناعي ناتجاً عن الاضطرابات في أيض بعض العناصر ، فقد ذكر الباحثان (30) أن المعادن مثل أيونات الحديد والنحاس والخاصين تعد مهمة في أيض الخلايا اللمفية لللبائن من حيث نمو وتكاثر الخلية وتصنيع الـDNA وكذلك في تنظيم التراكيز الداخل خلوية للترانسفيرين ، إنفيريتين ، ثلاثي فوسفات الاديوسين والبروتينات وكذلك مستقبلات سطح الخلية للانترلوكين 2- ، في حين لاحظ الباحثون (31) انخفاضاً معنوياً في مستويات كل من النحاس والزنك في مصل الدم لابقار الحليب المعرضة للمجال المغناطيسي بتردد 60 هرتز وكثافة 30 ملي تيسلا مقارنة بمجموعة سيطرة غير معرضة، ووجد الباحثون (32) أن العمال المعرضين للمجال الكهرومغناطيسي أظهروا انخفاضاً في مستويات كل من النحاس والزنك في مصل الدم، وقد عزي الباحثون هذه المستويات المتدنية من هذين العنصرين الى تنافسهما على الاتحاد بالميتالوثايونين أو طرح الزنك في مواجهة الجذور الحرة بوصفه مضاداً للاكسدة وعنصراً اساسياً في الوظائف الايضية خاصة تحت ظروف الكرب ، ولاحظ الباحثون أنفسهم أيضاً انخفاضاً في مستوى السيلينيوم في مصل الدم عند العاملين المعرضين للمجال الكهرومغناطيسي وأشاروا الى ان هذا الانخفاض قد يكون بسبب تأثيره الكاسح للجذور الحرة بوصفه عاملاً مختزلاً فضلاً عن دوره بوصفه مكوناً لبعض الانزيمات مثل الكلوتاتايون بيروكسيديز كما ولاحظوا أيضاً انخفاض مستوى الحديد وكذلك الكالسيوم في مصل دم العاملين المعرضين للمجال الكهرومغناطيسي. وإن سحب هذه العناصر من قبل خلايا الجسم اما كآلية مضادة للاكسدة أو بسبب زيادة الفعالية الايضية ربما يؤثر على توفرها للخلايا اللمفية او البلعمية سريعة التكاثر ويعطي مؤشراً على الاجهاد التأكسدي الناتج من الكرب.

المصادر

1. Cleveland JR, and Ulcek, JL. Questions and answers about biological effects and Potential hazards of radiofrequency electromagnetic field .OET Bulletin .56. 4th ed. Office of engineering and technology. Federal Communication Commission, Washington DC 20554. 1999. <http://www.niehs.nih.gov/emfrapid>.
2. Lai H, Singh NP. Single and double-Strand DNA breaks in the rat brain cells after acute exposure to low-level radiofrequency electromagnetic radiation. Int J Radiat Biol 1996. 69: 513 – 521.
3. Lai H, Singh NP. Melatonin and a spin-trap compound blocked radiofrequency radiation-induced DNA strand breaks in rat brain cells. Bioelectromagnetics 1997; 18: 446 – 454.
4. Schirmacher A, Winters S, Fischer S, Goeke J, Galla H, Kulluick U, Ringelstein EB, Stogbauer F. Electromagnetic fields (1.8 GHz) increase the permeability to sucrose of the blood – brain barrier in vitro. Bioelectromagnetics 2000; 21 (5): 338 – 345.
5. Yee KC, Chou CK and Guy AW. Influence of Microwave on the beating rate of isolated rat hearts. Bioelectromagnetics 1988; 9: 175 – 181.
6. Yamashita M, Ohsaki K, Shimizu K. Measurement of physiological effects of ELF electric field exposed by therapeutic instrument . Conference Digest of Ap-RASC' 01. 2001: 403.
7. Shimizu HO, Shimizu K. Experimental analysis on physiological effects of an ELF electric field exposure . Conference Digest of AP-RASC'01 . 2001: 402.
8. Ries MC, Milligan AJ, Merrick HW, Dobelbower RR. Biochemical and cellular effects of radiofrequency induced interstitial hyperthermia on normal canine liver. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1988; 14(3): 529-536.
9. Nergiz Y, Ketani MA, Akdag Z, Ersay AR and Celik MS. Effect of low-intensity microwave radiation on rat kidney : An ultrastructural Study. Turk J Med Sci 2000; 30: 223 – 227.
10. Luna LG. Manual of histologic staining methods of the armed forces institute of pathology. 4th ed. 1968. McGraw-Hill Book Company, New York.
11. الراوي، خاشع محمود و عبد العزيز، محمد خلف. تصميم وتحليل التجارب الزراعية 1980. مطابع مديرية دار الكتب للطباعة والنشر. جامعة الموصل. الموصل، العراق.
12. Smith RF, Justesen DR. Effects of a 60-Hz magnetic field on activity levels of mice. Radio Sci 1977; 12(6): 279 – 286.
13. Hjeresen DL, Kaune WT, Decker JR, Phillips RD. Effects of 60-Hz electric fields on avoidance behavior and activity in rats. Bioelectromagnetics 1980; 1: 299 – 312.
14. Al-Ghulami, TN. Bioeffects of medium wave length electromagnetic radiation exposure in rats . 1999. PhD Thesis. Science College, University of Mosul .
15. Lai H, Horita A, Chou CK, Guy AW. Micro wave-induced postexposure hyperthermia : Involvement of endogenous opioids and serotonin. IEEE Tran. Microwave Theory Tech 1984. MTT-32: 882 – 887.

16. Lai H, Horita A, Guy AW. Acute low-level Microwave exposure and central cholinergic activity: Studies on irradiation parameters . *Bioelectromagnetics* 1988; 9: 355 – 362.
17. Wilson BW. Chronic exposure to ELF fields may induce depression .*Bioelectromagnetics* 1988; 9: 195 – 205.
18. Kawakubo T, Yamauchi K, Kobayashi T. Effects of magnetic field on metabolic action in the peripheral tissue . *Japanese Journal of Applied Physics. Part 2-letters* 1999; 38(10B): 1201 –1203.
19. Lotz WG, Michaelson SM. Effects of hypophysectomy and dexamethasone on rat adrenal response to microwaves. *J Apph Physiol* 1979; 47 (6): 1284 – 1288.
20. Johnson RB, Kunz LL, Thompson D, Crowley J, Chou CK, Guy AW. Effects of long –term low level radiofrequency radiation exposure on rats. *Metabolism, Growth and Development.* 1984. 7: 31 – 84.
21. Prausnitz S, Susskind C. Effects of Chronic microwave irradiation on mice. *IRE Trans Bio Med Electron* 1962: 104 – 108.
22. Sienkiewicz ZJ, Cridland NA, Kowalczyk CI, Saunders RD. Biological effects of electromagnetic fields and radiation. Review of radio science. New York, Oxford University Press; 1993: 737 – 770.
23. Lai H, Carino MA, Singh NP. Naltrexone blocked RFR-induced DNA double Strand breaks in rat brain cells .*Wireless Network Journal* 1997; 3: 471-476.
24. Wong LS, Merritt JH, Kiel JL. Effects of 20 – MHz radiofrequency radiation on rat hematology splenic function , and Serum chemistry . *Radiat Res* 1985; 103 (2): 186 – 195.
25. Takashi O, Mori I, Nakamura M, Utsunomiya H, Tabuse K, Kakudo K. Microwave cell death :Immuno-histochemichal and enzyme histochemical evaluation . *Pathology International* 2003; 53(10): 686.
26. Singh NP, lai H . 60Hz magnetic field exposure induces DNA crosslinks in rat brain cells. *Mutat Res* 1998; 400: 313 – 320.
27. Lai. H. Genetic effects of nonionizing electromagnetic fields. *International workshop on biological effects of ionizing radiation, electromagnetic fields and chemical toxic Agents . Sinaia Romania* 2001; October 2 – 6: 74 – 80.
28. Zmyslony M, Policanski P, Rajkowska E, Szymczak W. Acute exposure to 930 MHz CW electromagnetic radiation in vitro effects species level in rat lymphocyte treated by iron ions. *Bioelectromagnetics* 2004; 25: 324 – 238.
29. Hook GJ, Spitz DR, Sim JE, Higashikubo R, Baty JD. Evaluation of parameters of oxidative stress after in vitro exposure to FMCW modulated radiofrquency radiation fields. *Radiat Res* 2005; 163: 497 – 504.
30. Oblender M, Carpentieri U. Effects of iron, copper and zinc on the activity of ribonucleotide reductase in normal and leukemic human lymphocytes. *Anti cancer Res* 1990; 10: 23 – 128
31. Burchards JF, Nguyen DH, Block E. Macro- and trace element concentrations in blood plasma and cerebrospinal fluid of dairy cows exposed to electric and magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1999; 20: 358 – 364.
32. Nourmohammadi I, Ahmadvand H, Taghikhani M. Evaluation of levels of macro–and micro–nutrients in workers exposed to electromagnetic fields

and comparison with levels of patients with leukemia. Iran Biomed J 2001;
5(2): 79 – 85 .