

Потаскалова В.С.,
Селюк М.М.,
Хайтович М.В.,
Цехмістер Я.В.

ВПЛИВ БАГАТОЧАСТОТНОГО МОДУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НАДВИСОКОЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ НА ВИДІЛЬНУ ФУНКЦІЮ НИРОК В ЕКСПЕРИМЕНТІ

Національний медичний університет імені О. О. Богомольця

Резюме В експерименті розглянуто особливості впливу імпульсного модульованого та безперервного електромагнітного випромінювання надвисокочастотного діапазону з щільністю потоку енергії $6 \pm 2,4$ мВт/см², що є еквівалентним максимально можливого енергетичного навантаження працівників радіолокаційних систем, на видільну функцію нирок. Встановлено порушення видільної функції нирок вже через добу після опромінення. При безперервному опроміненні з частотою 2,42 ГГц виявлені більш виражені зміни видільної функції нирок (значне зниження кількості добової сечі з тривалим періодом відновлення) порівняно із імпульсним опроміненням з частотою 465 ГГц.

Ключові слова: видільна функція, добовий діурез, експериментальні щури, електромагнітне випромінювання надвисокої частоти.

Актуальність

Розвиток сучасних технологій в різних галузях виробництва призводить до збільшення кількості людей, які зазнають впливу електромагнітного випромінювання (ЕМВ). Відсутність достатніх даних щодо патогенезу шкідливої біологічної дії надвисоких частот (НВЧ) призвело до суттєвих відмінностей в діючих гігієнічних нормативах в різних країнах [12].

Недостатньо вивчено питання щодо потенційно шкідливих порогових рівнів ЕМВ НВЧ, при яких реєструються мінімальні реакції найбільш чутливих систем. Вважається, що необхідно звертати увагу лише на такі інтенсивності ЕМВ, при яких реакції виходять за межі фізіологічної норми чи компенсаторних можливостей системи [8]. Однак необхідно додатково дослідити переносимість інтенсивних ЕМВ НВЧ, дозо-часові закономірності дії ЕМВ НВЧ та максимальний проміжок часу без суттєвої шкоди для здоров'я, оскільки існує певна категорія працівників, які обслуговують такі пристрої.

Біологічна ефективність ЕМВ різного діапазону детермінована характеристиками випроміню-

вання. Надвисокочастотний діапазон ЕМВ є найбільш біологічно активним та індукує широкий спектр біологічних ефектів [3,5,10].

Відомо, що НВЧ випромінювання викликає зміни активності деяких ферментів, процесів окисного фосфорилування, зміни біохімічних показників крові. У опромінених ЕМВ НВЧ виявлені зміни структури периферичних нервових стовбурів, які іннервують м'язи тулубу, міокарда та інші внутрішні органи з порушенням їх функції [1], при цьому знижується інтенсивність проліферативних процесів в кровотворних органах [11], розвивається макроцитарна анемія.

У наукових дослідженнях недостатньо вивчені та формалізовані дані про зміни видільної функції нирок під впливом ЕМВ НВЧ з різними несучими частотами.

Метою дослідження було оцінити наслідки впливу багаточастотним модульованим ЕМВ НВЧ на видільну функцію нирок експериментальних тварин.

Матеріали та методи

Дослідження проводилось на 80 статевозрілих щурах-самцях породи Wistar, які знаходились на

звичайному раціоні віварію, середня маса тварин становила $0,20 \pm 0,02$ кг. Тварини були поділені на 3 групи. Тварини I та II групи (по 35 щурів) зазнали тотального НВЧ опромінення нетеплового діапазону. Тварини I групи опромінені експериментальним генератором "Волна" з імпульсною модуляцією: тривалістю імпульсу 2 мс, міжімпульсний інтервал – 10 мс; несуча частота 0,465 ГГц; тривалість сеансу впливу складала 17,5 хв, щільність потоку енергії $6 \pm 2,4$ мВт/см².

Тварини II групи опромінені експериментальним генератором "Луч-11" з несучою частотою 2,45 ГГц, тривалістю 15 хв, щільність потоку енергії $6 \pm 2,4$ мВт/см².

Третю групу склали 10 інтактних тварин (група контролю).

Утримання та маніпуляції з тваринами проводили відповідно до положень "Загальних етичних принципів експериментів на тваринах", ухвалених Першим національним конгресом з біоетики (Київ, 2001), а також керувалися положенням "Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментальних та інших наукових цілей" (Страсбург, 1985).

Експериментальне опромінення щурів передбачало рівноенергетичність впливу ЕМВ з різними несучими частотами. Як відомо, основним параметром, що визначає ефективність дії фактору на організм, є енергетичне навантаження, показником якого є питома потужність поглинання (ППП) [7]. Використовували модельні методи розрахунку питомої потужності поглинання для людини та лабораторних тварин [15], їх надійність та адекватність підтверджені експериментально [17].

Близькість значень ППП, враховуючи коефіцієнт трансформації (Кт) для тварин, досягали шляхом зміни щільності потоку енергії (ЩПЕ) опромінення та розраховували як похідну Кт та ЩПЕ (ППП=Кт?ЩПЕ).

Загальні закономірності зміни коефіцієнту трансформації залежать від частоти випромінювання в мікрохвильовому діапазоні та заданого значення щільності потоку енергії [16]. В якості аргументу, що характеризує залежність, використана безрозмірна величина, яка дорівнює відношенню максимальної довжини об'єкту (L) до довжини хвилі опромінення (λ). В даному випадку значення Кт для щурів склали 0,20 та 0,29 відносних одиниць для частот опромінення 465 МГц та 2,45 ГГц відповідно. З метою уніфікації впливу враховувалась питома енергія поглинання (ПЕП), яка дорівнює добутку питомої поглиненої

потужності і часу дії (ПЕП=ППП?t). Тобто, для досягнення рівноенергетичності впливу параметри ЕМВ підбирались таким чином, щоб значення ППП та ПЕП біологічних об'єктів були близькими між собою, при цьому змінювали тільки тривалість сеансу впливу та щільність потоку енергії випромінювання.

Для отримання кореляційних залежностей, яке відображає видові особливості, застосовували принцип еквівалентного теплового навантаження відносно питомої метаболічної теплопродукції (ПМТ) в межах 25–35%. Враховували, що при проведенні експерименту вплив ЕМВ НВЧ не повинен викликати у тварин адаптивних та компенсаторних реакцій, які спрямовані на підтримання теплового гомеостазу [6].

При виборі енергетичних параметрів опромінення тварин орієнтувались на припустиме максимально можливе енергетичне навантаження на працівників радіолокаційних систем – джерела багаточастотних модульованих ЕМВ (0,4–0,5 мВт/см²) [9]. Враховуючи співвідношення ППП опромінення до ПМТ людей та тварин, а також стандартизацію ступеню поглинання енергії (робота в максимально співпадаючих діапазонах поглинання енергії), експериментальні тварин опромінювали при ЩПЕ 1,0–6,0 мВт/см². Для виключення розвитку адаптаційних реакцій в процесі опромінення в експериментальних умовах здійснювали нетривалий семикратний вплив.

Основною задачею метрологічного забезпечення дослідження було відтворення значень ЕМВ НВЧ діапазону із заданою точністю та підтриманням цих параметрів на заданому рівні протягом всього часу опромінення.

Задані параметри впливу встановлювались перед експериментом за допомогою вимірювача ЩПЕ ПЗ–20, вимірювальна антена розташовувалась в центрі, по краях та в проміжних точках простору, що опромінювали. Отримані дані дозволили визначити розміри робочої зони опромінення (однакова інтенсивність випромінювання по всій зоні) та визначити кількість тварин для одного опромінення – 5 щурів в робочій зоні. Нерівномірність електромагнітного поля в робочій зоні складала 19,5%, поляризація лінійна, ЩПЕсер. в зоні опромінення 1,0–6,0 мВт/см², вихідна потужність генератора 20Вт, ЩПЕсер. 40,0–60,0 мВт/см². Використовували квазібезехову екрановану камеру 80,0 70,0 см.

Протягом 28 діб проводили спостереження за поведінкою тварин, визначали добову кількість

сечі у тварин протягом першої, сьомої, чотирнадцятої, двадцять першої та двадцять восьмої діб.

Забір матеріалу проводили через 1, 7, 14, 21, 28 діб по 7 тварин з I та II дослідних та по 2 тварини контрольної групи. У тварини після декапітації проводили забір тканин внутрішніх органів для досліджень. Оцінювали макроскопічно морфологічні зміни внутрішніх органів; визначали масу печінки, селезінки та нирок тварин. Експериментальні дані обробили методами варіаційної статистики. Достовірність відмінностей оцінювали за критерієм Ст'юдента. Розраховували коефіцієнт парної кореляції Пірсона (r).

Результати та їх обговорення

На рис. 1 наведені результати дослідження кількості добової сечі в динаміці у щурів I та II груп. Відмічено, що НВЧ ЕМВ як імпульсної модуляції, так і безперервної, індукує значне зниження видільної функції нирок.

У щурів I групи добового діурезу в першу добу після опромінення зменшився в середньому (Х-SD) майже в 4 рази у порівнянні із контролем ($3,70 \pm 0,25$ мл проти $13,45 \pm 1,55$ мл; $p < 0,05$). Протягом наступного періоду спостереження до 28 доби добовий діурез повільно збільшувався: на 7 добу становив в середньому $4,80 \pm 1,55$ мл проти $12,50 \pm 1,55$ мл у контролі; $p < 0,05$, на 14 добу – $5,60 \pm 0,53$ мл проти $14,50 \pm 1,50$ мл ($p < 0,05$); на 21 добу $5,40 \pm 0,78$ мл проти $13,40 \pm 2,35$ мл; $p < 0,05$; на 28 добу – відповідно $6,8 \pm 0,69$ мл проти $12,20 \pm 0,50$ мл, ($p < 0,05$).

У щурів II групи також в першу добу спостереження виявлялось різке зменшення добової кіль-

кості сечі (в середньому до $4,40 \pm 0,40$ мл), з наступним збільшення добового діурезу до 21 доби (на 7 добу $4,30 \pm 0,20$ мл, протягом 14 доби $6,60 \pm 0,90$ мл, протягом 21 доби спостереження – $10,70 \pm 0,75$ мл проти $13,40 \pm 2,35$ мл контрольної групи; $p < 0,05$), але на 28 добу експерименту відмічалось значне зменшення кількості добової сечі ($3,30 \pm 0,99$ мл), навіть у порівнянні із діурезом у першу добу після опромінення.

Між кількістю добової сечі і добою спостереження у щурів I групи відмічено достовірний прямий високий кореляційний зв'язок ($r = 0,84$; $p < 0,005$) (рис. 2), у щурів II групи – зворотній кореляційний зв'язок ($r = -0,34$; $p < 0,05$).

В таблиці наведені середні значення маси нирок у опромінених тварин I та II груп.

В першу добу після опромінення маса нирок щурів I групи збільшилась на 72,6% у порівнянні із контрольною групою ($2,40 \pm 0,02$ г проти $1,39 \pm 0,02$ г; $p < 0,05$), на 7 добу маса нирок опромінених тварин відповідала контрольній групі ($1,40 \pm 0,05$ г проти $1,39 \pm 0,02$ г; $p < 0,05$). На 14 добу спостереження зберігаються попередні дані ($1,60 \pm 0,5$ г проти $1,39 \pm 0,02$ г; $p < 0,05$), а на 21 добу знову виявили значне збільшення маси органів ($2,10 \pm 0,15$ г проти $1,39 \pm 0,02$ г; $p < 0,05$). При визначенні маси нирок на 28 добу спостереження дані незначно перевищували вихідні ($1,55 \pm 0,04$ г проти $1,38 \pm 0,01$ г; $p < 0,05$).

Маса нирок у щурів II групи протягом всього періоду спостереження суттєво не відрізнялась від контрольних значень. В першу добу після опромінення $1,40 \pm 0,13$ г, на 7 добу $1,60 \pm 0,10$ г, на



Рис. 1. Добовий діурез у експериментальних щурів, які зазнали впливу імпульсного модульованого (I група) та безперервного (II група) опромінення

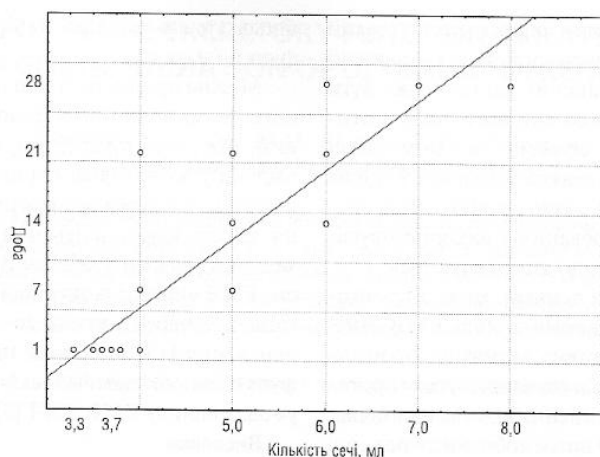


Рис. 2. Прямий кореляційний зв'язок ($r=0,84$; $p<0,005$) між кількістю добової сечі і добою спостереження у щурів I групи

Таблиця

Зміна маси нирок щурів під впливом НВЧ опромінення (г)

Тварини	1 доба	7 доба	14 доба	21 доба	28 доба
I група	2,4±0,02*	1,4±0,01*	1,6±0,01*	2,1±0,01*	1,55±0,01*
II група	1,4±0,13*	1,6±0,1*	1,4±0,04*	1,2±0,04*	1,54±0,1*
Контроль	1,39±0,02	-	-	-	1,38±0,01

Примітка: Зірочкою (*) відмічена достовірність відмінності маси нирок у щурів I групи та групи контролю ($p<0,05$).

14 1,40±0,04 г, на 21 – 1,2±0,04 г, на 28 добу – 1,54±0,10 г.

У тварин I групи виявлено негативний кореляційний зв'язок між масою нирок і добою спостереження ($r=-0,32$; $p<0,05$); позитивний кореляційний зв'язок між масою органів і добовим діурезом ($r=0,54$; $p<0,005$). У тварин II групи натомість відмічено негативний кореляційний зв'язок між масою нирок та добовим діурезом ($r=-0,69$; $p<0,005$).

Отже, як при імпульсному модульованому, так і при безперервному опроміненні з частотою відповідно 465 ГГц та 2,45 ГГц у тварин відбуваються зміни видільної функції нирок.

Виявлені особливості змін кількості добового діурезу та морфологічного стану нирок від часу та виду опромінення: у тварин I групи кількість добової сечі поступово збільшилась за час спостереження, спостерігалось компенсаторне збільшення маси органів в першу добу спостереження з подальшою нормалізацією вже на сьому добу

спостереження. Разом з тим, із зменшенням маси органів в I групі тварин спостерігалось збільшення кількості добової сечі, тоді як у щурів II групи спостерігалось зменшення об'єму добової сечі в першу добу спостереження з швидким відновленням видільної функції нирок до 21 доби та різке зниження добового діурезу у період з третього по четвертий тиждень спостереження, на фоні цього не спостерігали значних змін в масі нирок за весь час спостереження.

При впливі безперервного опромінення зміни з боку видільної функції нирок були більш виражені і не відновились за час спостереження, тоді як у щурів, які зазнали імпульсного опромінення відмічено тенденцію до відновлення кількості добової сечі протягом експерименту.

Як відомо, при дії ЕМВ на клітини живого організму виникає деполіаризація клітинних мембран зі зміною мембранної проникності для іонів, змінюється активність натрієвого насоса. Чим краще кровопостачання органу, чим глибше він

розташований, тим менш виражений тепловий ефект, але при цьому спостерігаються резонансні ефекти, причому резонансних частот може бути декілька. Залежно від фізіологічного стану клітини можливий прояв ефектів, у тому числі різноспрямованих, а в деяких випадках і повна відсутність ефекту ЕМВ, якщо реакції різних систем на вплив випромінювання з використовуваними параметрами взаємно компенсуються.

Згідно з отриманими даними, можна припустити, що при безперервному впливі ЕМВ НВЧ діапазону виникає виражена активація процесів адаптації. В результаті, відновлення діурезу протягом 3 тижнів після опромінення відбувалось більш швидкими темпами, але потім добовий діурез став значно знижуватися, що може свідчити про швидке настання декомпенсації ниркових функцій, зокрема - видільної. При цьому не спостерігалось реактивного компенсаторного збільшення маси органів в першу добу після опромінення.

При імпульсному опроміненні маса органів значно збільшилась вже в першу добу спостереження, можливо, за рахунок посилення кровопостачання, що узгоджується з даними інших дослідників [4], що в свою чергу дало можливість

більш повільно, але стабільно відновлюватись функції нирок.

Можна припустити, що при впливі безперервного випромінювання резонанс менш виражений, ніж при імпульсному, що спочатку і позначається у зовні більш сприятливого перебігу, але віддалені наслідки безперервного випромінювання відображають існування активації інших механізмів ураження органу. Згідно даних літератури, ЕМВ опосередковує свої ефекти у біологічних мішенях через активацію вільнорадикального окислення [15,16]. Схоже пригнічення видільної функції нирок відмічалось у осіб, які працювали в умовах впливу ЕМВ НВЧ [8].

Висновки

Електромагнітне випромінювання надвисоких частот при ЦПЕ $6 \pm 2,4$ мВт/см², еквівалентне максимально можливому енергетичному навантаженню працівників радіолокаційних систем, знижує видільну функцію нирок. При безперервному опроміненні з частотою 2,42 ГГц відбуваються більш виражені зміни видільної функції нирок (значне зниження кількості добової сечі з тривалим періодом відновлення) порівняно із імпульсним опроміненням з частотою 465 ГГц.

НАРУШЕНИЕ ВЫДЕЛИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ПОЧЕК У КРЫС, ПОДВЕРГШИХСЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

Потаскалова В.С., Селюк М.Н., Хайтович Н.В., Цехмистер Я.В.
Национальный медицинский университет имени А.А.Богомольца

Резюме. В эксперименте рассмотрены особенности воздействия импульсного модулированного и непрерывного электромагнитного излучения сверхвысокочастотного диапазона с плотностью потока энергии $6 \pm 2,4$ мВт/см², что является эквивалентным максимально возможной энергетической нагрузки работников радиолокационных систем на выделительную функцию почек. Установлено нарушение выделительной функции почек уже через сутки после облучения. При непрерывном облучении с частотой 2,42 ГГц выявлены более выраженные изменения выделительной функции почек (значительное снижение количества суточной мочи с длительным периодом восстановления) по сравнению с импульсным облучением с частотой 465 ГГц.

Ключевые слова: выделительная функция, суточный диурез, экспериментальные крысы, электромагнитное излучение сверхвысокой частоты.

VIOLETION OF RENAL EXCRETORY FUNCTION IN RATS EXPOSED TO ELECTROMAGNETIC RADIATION OF ULTRAHIGH-FREQUENCY RANGE

Potaskalova V.S., Seliuk M.M., Khaitovych M.V., Tsekhmister Ya. V.
O.O. Bohomolets National Medical University

Summary. The experiment shows impact peculiarities for pulse modulated and continuous microwave range electromagnetic radiation with an energy flux density of $6 \pm 2,4 \text{ mW/cm}^2$, which is equivalent to the maximum possible energy impact for radar systems personnel on renal excretory function. Renal excretory function violation was found within a day of radiation. Under continuous radiation of 2.42 GHz frequency more distinct changes in renal excretory function were revealed (significant reduction in daily urine quantity with prolonged recovery period) compared to pulsed radiation of 465 GHz frequency.

Key words: renal function, daily diuresis, experimental rats, electromagnetic radiation of ultrahigh frequency.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Белокриницкий В.С. - Характер физиологических и морфологических изменений нервной системы облученных сверхвысокочастотным полем животных в процессе формирования микроволновой патологии ("микроволновой болезни"). - Клінічна та експериментальна патологія. - 2005. - Т.4. - №3. - С.13-17.
2. Захарченко М.П., Никитина В.Н., Лютов В.В. Электромагнитные излучения и здоровье - СПб. - 1998. - С.140.
3. Каляда Т.В., Никитина В.Н. - Медико-биологические аспекты воздействия модулированных высокочастотных излучений. - Гигиена и санитария. - 1989. - №10. - С.39-40.
4. Карпунин И.В., Кияткин В.А., Есилевский Ю.М., Севергина Э.В., Уфимцева А.Г. - Действие электромагнитных полей сверхвысокой частоты на внутривисочечный кровоток и морфологическое состояние здоровых почек (экспериментальное исследование). - Вопросы курортологии. Физиотерапии и лечебной физической культуры. - 2000. - №6. - С.34-39.
5. Могила А.И. - Сравнительная оценка неблагоприятных эффектов воздействия на организм модулированных многочастотных и одночастотных электромагнитных излучений (клинико-экспериментальное исследование). - Дис. к. мед. н. - 2003. - С.20.
6. Савинов В.А., Эткин П.И. - Некоторые особенности функции почек у длительно работающих с СВЧ генераторами. - Военно-медицинский журнал. - 1975. - №8. - С.42.
7. Сподобаев Ю.М., Кубанов В.П. - Основы электромагнитной экологии. - М.: Радио и связь. - 2000. - С.240. - ISBN 5-256-01513-3.
8. Чернецов А.А., Лютов В.В., Володин А.С. - Об электромагнитной безопасности на военно-технических объектах. - Военно-медицинский журнал. - 1998. - Том 319. - N 3. - С.53-59.
9. Шандала М.Г. - Опыт гигиенической разработки проблемы физических факторов окружающей среды. - Гигиена и санитария. - 1999. - № 4. - С.3-9. 2.
10. Cetin N., Bilgili A., Eraslan G. - Effects of pulsed magnetic field chronic exposure on some haematological parameters in mice. - Rev.med.vet. - 2006. - 157. - №2. - P.68-71.
11. Chou C.K., Bassen H., Osepchuk J., Balzano Q., Petersen R., Meltz M., Cleveland R., Lin J.C., Heynick L. - Radio frequency electromagnetic exposure: tutorial review on experimental dosimetry. - Bioelectromagnetics. - 1996. - 17(3). - P.195-208.
12. Durney C.H., Massoudi H., Iskander M.X. - Radiofrequency radiation dosimetry handbook (fourth edition). - USA, Salt Lake City: University of Utah; US AF School of Aerospace Medicine, TX. - 1986. - P.10.1-10.26.
13. Furia L., Hill D.W., Gandhi O.P. - Effects of millimeter-wave irradiation on growth of *sacharomyces cerevisiae*. - IEEE Trans. Biomed. Eng. - 1996. - V. BME - 33. - №11. - P.993 - 999.
14. Gordon C.J., Ferguson J.H. - Scaling the Physiological Effects of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Radiation: Consequences of Body Size. - 1984. - №46(4). - P.387-397.
15. Meral I., Mert H., Mert N., Deger Y., Yoruk I., Yetkin A., Keskin S. - Effects of 900-MHz electromagnetic field emitted from cellular phone on brain oxidative stress and some vitamin levels of guinea pigs. - Brain Res. - 2007. - №6. - P. 17.
16. Wolf F.I., Torsello A., Tedesco B., Fasanella S., Boninsegna A., D'Ascenzo M., Grassi C., Azzena G. B., Cittadini A. - 50-Hz extremely low frequency electromagnetic fields enhance cell proliferation and DNA damage: possible involvement of a redox mechanism. - Biochim Biophys Acta. - 2005. - № 1743(1-2). - P.9.