

УДК 621.039

## БІОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГ- НІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ (огляд літератури)

В.Є. ДОБРОВА

*Національний фармацевтичний університет, м. Харків*

**Ключові слова:** електромагнітне випромінювання міліметрового діапазону (ЕМВ ММД), клітини, біологічні об'єкти, біологічні параметри

*В роботі розглянуто специфічні особливості впливу електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону на біологічні об'єкти. Проведено аналіз результатів чисельних експериментів, виявлені їх недоліки, загальні закономірності та обґрунтовано необхідність реалізації подальших досліджень у цьому напрямку на базі клітинних моделей.*

### ВСТУП

Протягом останніх десятиліть велике зацікавлення вчених України, Росії та інших країн викликає вплив електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону (ЕМВ ММД) на живі організми [1, 7, 10, 11, 14]. Низька потужність потоку опромінення ЕМВ ММД дозволяє використовувати ці хвилі для вирішення широкого кола завдань [1–3], але на сьогоднішній час особливості взаємодії ЕМВ ММД з біологічними об'єктами розглянуті лише в описових ракурсах з гіпотетичними припущеннями щодо будь-яких теоретичних механізмів.

З метою обґрунтування подальшого напрямку проведення досліджень та визначення моделей біологічних експериментів, які б дозволили перевірити деякі теоретичні припущення та дали статистично-доказову основу для їх подальшого розвитку, було проведено аналіз великої кількості джерел.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

За для виявлення біологічного, фізичного та структурного впливу ЕМВ ММД на живі об'єкти було виконано значну кількість експериментальних робіт. В якості об'єктів дослідження використовувалися різні біологічні структури: культури мікроорганізмів, клітини рослин, нервові клітини молюсків, формені клітини крові, тощо. Складність досліджень підвищувалася через відсутність датчиків поглинання випромінювання цього діапазону, тому реакція на опромінен-

ня визначалася непрямим методом за деякими характерними біологічними параметрами: зміна ферментативної активності, швидкості росту культури, процесів метаболізму та ін.

На першому етапі було визначено, що вплив на *E. coli* ЕМВ з довжиною хвилі 6,5...6,58 мм (45,6...46,2 ГГц) протягом 2 годин при густині потоку потужності приблизно 5 мкВт/см<sup>2</sup> призводить до зміни у 2–3 рази відсотка мікроорганізмів, які виділяють білок коліцин [4]. Зміна величини коефіцієнту індукції коліцину носила резонансний характер та залежала від довжини хвилі. При опроміненні бактерій *E. coli* ЕМВ ММД частотою 136 ГГц при густині потоку потужності 7 мкВт через 4 години інгібування росту складало приблизно 600%. Було зроблено припущення про вплив ЕМВ ММД на процеси метаболізму клітин, при чому збільшення густини потоку потужності від найменшого значення до значень, які викликають суттєве нагрівання тканин (більше 0,1°C), не викликало практично ніяких змін.

З метою з'ясування біологічних механізмів та структур, відповідальних за них, було проведено дослідження поглинання клітинами *E. coli* випромінювання в діапазоні 65–75 ГГц, а також поглинання цього ЕМВ білками, РНК і ДНК [5]. Встановлено, що частоти поглинання випромінювання клітинами і клітинними компонентами співпадають. Експериментальна перевірка результатів [6] не підтвердила цих висновків та навела на думку про наявність артефактів, пов'язаних з недосконалістю техніки вимірювання і опромінювання.

Дослідження дії ЕМВ ММД на конформаційні стани геному *E. coli* і конформаційні стани

**В. Є. Доброва** — вчений секретар наукового відділу, доцент кафедри фізики Національного фармацевтичного університету, к. т. н., доцент

хроматину у тимоцитах щурів [7–9] показали, що резонансні ефекти спостерігалися при дуже низькій інтенсивності випромінювання — близько  $10^{-11}$ – $10^{-18}$  Вт/см<sup>2</sup>. Частоти, на яких спостерігалися ефекти, та виразність цих ефектів, залежала від концентрації клітин в суспензії, довжини геному, фази динаміки зростання, а також від поляризації випромінювання [9]. У цих роботах було отримано добру відтворність резонансних частот ЕМВ ММД, а також за довжиною гаплоїдного геному передбачено резонансну частоту ефекту.

Дослідження зміни швидкості росту деяких культур дріжджових грибів під впливом ЕМВ ММД показали [12–14], що існує декілька частотних діапазонів у межах 41,65...41,8 ГГц, де відбувається збільшення цього показника. Обробка результатів за допомогою методів кореляційного аналізу показала статистично значуще, частотно-залежне збільшення (більше 100 %) або зменшення (до 74 %) швидкості розмноження дріжджів в логарифмічній фазі зростання. Ефект спостерігався в області частот близько 42 ГГц, залежав від густини потоку енергії випромінювання та мав яскраво виражений резонансний характер з шириною смуг близько 8 МГц. Це дозволило авторам зробити припущення про наявність у цих клітинах власних коливань міліметрового діапазону довжини хвиль.

Експериментальна перевірка цих результатів, проведена у роботах [10, 11], не виявила статистично значущих ефектів впливу ЕМВ ММД (частоти 41,682–41,710 ГГц, крок по частоті — 2 МГц, інтенсивність потоку енергії — 0,5 і 50 мкВт/см<sup>2</sup>) ні на швидкість росту дріжджів, ні її динаміку. Автори оригінальних робіт [12–14] пояснювали відсутність ефекту тим, що залежно від фази розвитку культури може спостерігатися як стабілізуюча, так і дестабілізуюча дія випромінювання на швидкість розмноження клітин. Проте при дослідженні дії ЕМВ ММД на біологічні об'єкти потрібно враховувати можливу наявність артефактів, які необхідно виключати за допомогою більш ретельного планування експерименту.

При дослідженні дії ЕМВ ММД на біохімічну активність гнилісного анаеробного мікроорганізму *Cl. sporogenes*, було виявлено інгібування активності ферментів клітин, які розщеплюють пептидні зв'язки по тирозину, лейцину, гліцину, глютаміновій кислоті, валіну та метіоніну. В той же час випромінювання активізувало протеолітичні системи, що здійснюють гідроліз пептидного зв'язку по гістидину і аланіну [4].

При дослідженні дії ЕМВ ММД на утворення протеаз у цвілевого гриба *Aspergillus orizal* [15] визначено збільшення в 2–2,5 рази фібри-

політичної активності при опроміненні довжиною хвилі (6,4 мм), причому при опроміненні довжиною хвилі 6,5 мм напрямок ефекту мінявся на протилежний. Зміна показників стану біологічного об'єкту *Aspergillus awamory* [16], які характеризують різні параметри активності, у протилежних напрямках під дією ЕМВ ММД демонструє можливість створення багатовекторного впливу на біологічну систему.

Вплив ЕМВ ММД у межах хвилі довжиною  $\lambda=7,1$  мм при густині потоку потужності 10 мВт/см<sup>2</sup> протягом 1 год. на поверхню шкіри мишей сприяв зниженню токсичного впливу рентгенівського випромінювання на кістково-мозкове кровотворення [17]. Залежність зміни числа кариоцитів мишей від довжини хвилі ЕМВ показує можливість вибору декількох піддіапазонів частот, попереднє опромінення в яких забезпечує відновлення до 90 % клітин. Аналіз результатів експериментів дозволив зробити висновок: зміна біологічного параметру відбувається лише після впливу ЕМВ ММД вузького діапазону частот (резонансний біологічний ефект), але ці діапазони резонансних частот чергуються з такими, де не відбувається ніяких суттєвих змін показника. Таких діапазонів досить багато, що сприяє використанню апаратури як вузької направленості дії, так і не заперечує можливість отримання біологічного ефекту при опроміненні ЕМВ ММД широкого діапазону частот, наприклад шумовими сигналами.

Зміна біологічного параметру під впливом опромінення ЕМВ ММД не пов'язана з безпосереднім попаданням енергії коливань на поверхню системи (органу), яка відповідає за зміну показника. Відстань від місця падіння опромінення до цих систем може перевищувати у сотні разів ту відстань, де густина потоку потужності зменшується на порядок через втрати у тканинах.

Дуже зручними модельними системами для вивчення біологічних ефектів ЕМВ ММД є ізольовані клітини та одноклітинні організми, оскільки вони зберігають фізіологічні функції, легко доступні для різних біохімічних маніпуляцій, допускають можливість достатньо точного виміру та сильно спрощують аналіз. Біологічні мембрани, завдяки наявності в них спеціалізованих білків-рецепторів, здібності регулювати енергетичні і біохімічні процеси у клітині та обмежувати водний простір всередині і зовні клітин, є універсальним індикатором змін у функціонуванні клітин. Експериментальні дані дії ЕМВ ММД безпосередньо на мембрани включають дослідження збудливих клітин, незбудливих клітин модельних систем — ліпосом і бішарових ліпідних мембран [18, 19].

### ВИСНОВКИ

Результати експериментальних робіт демонструють високу чутливість біологічних об'єктів до ЕМВ ММД низької інтенсивності. Зміна густини потоку потужності не впливає на реакцію біологічних об'єктів на ЕМВ ММД. Мінімальна потужність потоку ЕМВ ММД, яка потрібна для створення значного біологічного ефекту, складає 1–10 мВт, що є значно меншим у порівнянні з тепловою потужністю, яку біологічний об'єкт віддає у оточуючий простір (в  $10^3$ – $10^4$  разів). Опромінення ЕМВ ММД однієї резонансної частоти по-різному впливає на різні біологічні параметри. Характер зміни цих показників може суттєво відрізнятись, що обґрунтовує можливість різночастотного впливу на біологічний об'єкт, а також не заперечує можливість дослідження та використання шумових сигналів ЕМВ ММД. При опромінюванні клітин спостерігаються як функціональні, так і структурні зміни на мембранах, які можуть впливати на ефекти сприйняття та подальшої дії ЕМВ ММД на рівні всієї клітини. Проте питання про конкретні біологічні та фізико-хімічні механізми рецепції випромінювання ММД на мембрані та їх передача до внутрішньоклітинних структур потребує детального, ретельно спланованого дослідження з проведенням різностороннього аналізу.

### ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Бецкий О. В. Миллиметровые волны и живые системы/Бецкий О. В., Кислов В. В., Лебедева И. Н. — М.: Сайнс-Пресс, 2004. — 168 с.
2. Шевелева Е. Н. Эффекты локального воздействия излучения миллиметрового диапазона на покровные биологические ткани/Е. Н. Шевелева, А. В. Козарь, А. Ф. Королев, Ю. Г. Яременко//Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. — 2007. — № 12. — С. 54–58.
3. Изучение функциональной активности Т- и В- лимфоцитов у больных с H. Pylori — ассоциированной гастродуоденальной патологией в динамике заболеваний на фоне КВЧ-терапии/А. А. Бокарев, Е. И. Ефимов, Е. А. Аистова, [и др.]//Вестник Нижегородского университета им. Лобачевского. Сер. Биология. — 2003. — № 1 (16). — С. 172–175.
4. Виленская Р. Л. Охарактеревоздействия миллиметрового излучения на синтез колицина/Р. Л. Виленская, Э. А. Гельвич, М. Б. Голант, А. З. Смоленская//Научные доклады высшей школы. Биологические науки. — 1979. — № 7. — С. 59.
5. Webb S. J., Booth A. D. Absorption of microwaves by microorganisms//Nature. — 1969. — Vol. 22. — P. 1199–1200.
6. Gandhi O. P. Some basic properties of biological tissues for potential biomedical applications of millimeter waves//J Microwave Power. — 1983. — Vol. 18. — P. 295–304.
7. Belyaev I. Ya., Alipov Ye. D., Shcheglov V. S., Polunin V. A., Aizenberg O. A. Cooperative response of Escherichia coli cells to the resonance effect of millimeter waves at super low intensity//Electro — and Magnetobiology. — 1994. — Vol. 13. — P. 53–66.
8. Belyaev I Ya., Kravchenko V. G. Resonance effect of low-intensity millimeter waves on the chromatin conformational state of rat thymocytes//Z. Naturforsch. — 1994. — Vol. 49 c. — P. 352–358.
9. Belyaev I Ya., Shcheglov V. S., Alipov Ye. D. Existence of selection rules on helicity during discrete transitions of the genome conformational state of E. coli cells exposed to low-level millimetre radiation//Bioelectrochem. Bioenergetics. — 1992. — Vol. 27. — P. 405–411.
10. Furia L., Hill D. W., Gandhi O. P. Effect of millimeter-wave irradiation on growth of Saccharomyces cerevisiae//IEEE Trans. Biomed. Eng. — 1986. — Vol. BME — 33. — № 11. — P. 993–999.
11. Gos P., Eicher B., Kohli J., Heyer W. — D. Extremely high frequency electromagnetic fields at low power density do not affect the division of exponential phase Saccharomyces cerevisiae cells//Bioelectromagnetics. — 1997. — Vol. 18. — P. 142–155.
12. Grundler W. Frequency-dependent biological effects of low intensity microwaves//In: Chiabrera A., Nicolini C., Schwan H. P. (eds.) Interactions between electromagnetic fields and cells. — Plenum Publishing Corporation, 1985. — P. 459–481.
13. Grundler W., Jentzsch U., Keilmann F., Putterlik V. Resonant cellular effects of low intensity microwaves//In: Frohlich H. (ed.) Biological coherence and response to external stimuli. — Springer, Berlin Heidelberg New York, 1988. — P. 65–85.
14. Grundler W., Kaiser F. Experimental evidence for coherent excitations correlated with cell growth//Nanobiology. — 1992. — Vol. 1. — P. 163–176.
15. Егоров Н. С., Голант М. Б., Ландау Н. С. //Тез. докл. IV Всесоюз. семинара «Изучение механизмов нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты и биологически активные соединения». — ИРЭ АН СССР, 1981. — С. 13.

16. Возможность регулирования жизнедеятельности микроорганизмов при воздействии на них электромагнитных колебаний миллиметрового диапазона/М. Б. Голант, А. К. Брюхова, Е. А. Двдцатова и др.//Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты. — М.: ИРЭ АН СССР, 1983. — С. 115–122.
17. Резонансный характер воздействий радиоволн миллиметрового диапазона на биологические системы/Л. А. Севастьянова, А. Г. Бородкина, Э. С. Зубенкова и др.//Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты. — М.: ИРЭ АН СССР, 1983. — С. 34–47.
18. Девятков Н. Д., Бецкий О. В., Ильина С. А., Путвинский А. В. Влияние миллиметрового излучения низкой интенсивности на ионную проницаемость мембран эритроцитов//Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты — М.: ИРЭ АН СССР, 1983. — С. 78–96.
19. Cleary S.F., Garber F., Liu L.M. Effects of X-band microwave exposure on rabbit erythrocytes//Bioelectromagnetics. — 1982. — Vol. 3. — P. 453–466.

### УДК 621.039

#### БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

В. Е. Доброва

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение миллиметрового диапазона (ЕМВ ММД), клетки, биологические объекты, биологические параметры

В работе рассмотрены специфические особенности влияния электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на биологические объекты. Проведен анализ результатов многочисленных экспериментов, определены их недостатки, общие закономерности обоснована необходимость реализации дальнейших исследований в этом направлении на основе клеточных моделей.

### UDK 621.039

#### BIOLOGICAL EFFECTS OF INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC RADIANCE OF THE MILLIMETRIC RANGE

V. E. Dobrova

**Key words:** electromagnetic radiance of a millimeter range (EMB MMD), cells, biological objects, biological factors

In this work some specific features of influence of electromagnetic radiance of a millimeter range on biological objects are considered. It carries out the analysis of results of numerous experiments, their lacks; the general laws are defined and the necessity of realization of the further researches for this direction on the basis of cellular models is proved.

Адреса для листування:  
61168 м. Харків, вул. Пушкінська, 53,  
Науковий відділ НФаУ  
Тел. 8 (057)706–30–71

Надійшла до редакції: 03.11.2008 р.