

ДИКА Л.Д., СТРАШНЮК В.Ю.✉

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
Україна, 61022, м. Харків, майдан Свободи, 4, e-mail: lilya\_dikaya@ukr.net  
✉ volodymyr.strashnyuk@gmail.com, (067) 947-83-50, (066) 935-32-97

### ТРИВАЛІСТЬ ЖИТТЯ В ІМАГО *DROSOPHILA MELANOGASTER* MEIG. ЗА ВПЛИВУ МІКРОХВИЛЬОВОГО ОПРОМІНЮВАННЯ

В останні десятиліття виник і сформувався новий значущий фактор навколишнього середовища – електромагнітні поля (ЕМП) антропогенного походження [1]. Масштаби електромагнітного забруднення стали настільки суттєвими, що Всесвітня організація охорони здоров'я включила цю проблему до переліку найбільш актуальних для людства [2]. Міжнародне агентство з дослідження раку (IARC) класифікує радіочастотні електромагнітні поля як, імовірно, канцерогенні для людини [3]. Існує гостра необхідність оцінки його впливу на живі організми на різних рівнях організації. Дослідження на модельному об'єкті, яким є плодова мушка, актуальні з точки зору виявлення біологічної дії ЕМП.

Одним з показників, що характеризує життєздатність організмів, є тривалість життя. Для пояснення механізмів старіння запропоновано низку теорій і гіпотез, що базуються на генетичних і фізіологічних змінах в організмі у ході онтогенезу. Зокрема, це теорія накопичення соматичних мутацій [4, 5], вільно-радикальна теорія [6], теорія антагоністичної плейотропії [7], теорія запрограмованої смерті [8], мітохондріальна теорія [9]. Останнім часом швидко набирає вагу епігенетична теорія старіння, яка визнає провідну роль у процесі старіння неадаптивних епігенетичних змін [10, 11]. Кожна з цих гіпотез може бути використана для пояснення диференціальної тривалості життя організмів за впливу тих чи інших чинників.

Метою роботи було дослідити вплив мікрохвильового опромінювання різної інтенсивності на тривалість життя імаго у *Drosophila melanogaster* Meig.

#### Матеріали і методи

У роботі використовували лінію дикого типу *Oregon-R Drosophila melanogaster* з колекції кафедри генетики і цитології Харківського

національного університету імені В.Н. Каразіна. Мух вирощували на стандартному цукрово-дріжджовому живильному середовищі за температури  $24,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ . Культури дрозофіли розвивалися в стаканчиках об'ємом 60 мл. Обсяг живильного середовища в кожному стаканчику становив 10 мл.

Джерелом НВЧ-випромінювання служив випромінювач мікрохвильового діапазону, розроблений і сконструйований на кафедрі теоретичної радіофізики Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна на основі діода Гана (автор і розробник В.Н. Биков). Цей пристрій генерує ЕМП з частотою 36,64 ГГц.

Щільність потужності випромінювання задавали розташуванням об'єкта на певній відстані від джерела. Використовували три варіанти щільності: 0,01, 0,1 і 1 Вт/м<sup>2</sup>, експозиція становила 10 секунд. Опромінювали імаго дрозофіли у віці 2-х діб. В опромінених і неопромінених (контроль) мух досліджували тривалість життя. У стаканчики поміщали по 20–25 особин імаго, окремо віргінних самок і самців. Облік мух, що вижили, проводили кожні три доби при пересадці на свіже живильне середовище. Проведено по три повторності у кожному варіанті досліду.

Зроблено статистичний аналіз даних. Побудовано криві виживання. Перевірку на нормальність розподілів визначали стандартними методами. Розподіл за тривалістю життя рідко підпорядковується нормальному закону [12]. У наших дослідженнях він теж не був нормальним.

Для порівняння розподілів у різних варіантах досліду використовували критерій Краскала-Уолліса, який є непараметричним аналогом дисперсійного аналізу, з подальшим множинним порівнянням із використанням критерію Данна (*Q*). Як точкові показники використовували медіанну тривалість життя, час 90 %-й

загибелі мух і максимальну тривалість життя [13].

### Результати та обговорення

На рисунку представлені криві виживання самок (а) і самців (б) імаго дрозофіли в контролі та за впливу мікрохвильового опромінення.

У самок за щільності потужності 0,01 і 1 Вт/м<sup>2</sup> криві виживання відрізнялися від контрольної кривої. За інтенсивності мікрохвиль 0,01 Вт/м<sup>2</sup> смертність імаго була збільшена у ранніх і середніх вікових групах: 12–48 діб, а за 1 Вт/м<sup>2</sup> – у ранніх (15–24 доби) і пізніх (39–75 діб) вікових відрізках. Критерій Данна показав наявність значущих відмінностей розподілів досліджуваної ознаки між цими двома дослід-

ними групами і контролем: відповідно,  $Q_{0,01} = 2,03$  ( $p < 0,05$ );  $Q_1 = 2,74$  ( $p < 0,05$ ).

За опромінення зі щільністю потужності 0,1 Вт/м<sup>2</sup> крива виживання не мала значущих відмінностей від контролю:  $Q_{0,1} = 0,87$  ( $p > 0,05$ )

У самців значущі зміни у розподілі тривалості життя імаго дрозофіли мали місце лише за щільності потужності мікрохвиль 0,01 Вт/м<sup>2</sup>:  $Q_{0,01} = 2,04$  ( $p < 0,05$ ). Смертність імаго у цій дослідній групі була вищою за контрольні значення у середніх вікових відрізках 36–54 доби. За щільності потужності 0,1 і 1 Вт/м<sup>2</sup> мікрохвильове опромінення не впливало на виживання самців імаго дрозофіли: критерій Данна становив відповідно  $Q_{0,1} = 1,00$  ( $p > 0,05$ ) і  $Q_1 = 0,77$  ( $p > 0,05$ ).

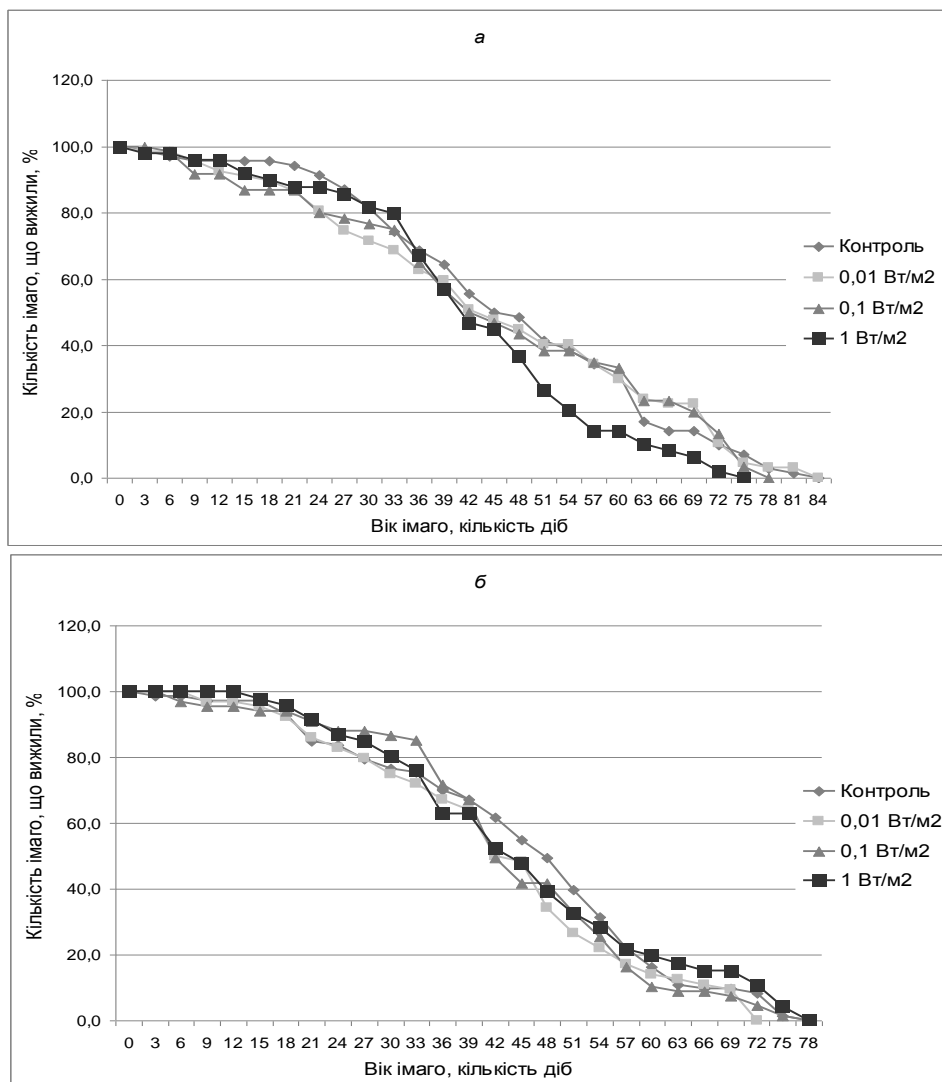


Рис. Криві виживання імаго в лінії *Oregon-R Drosophila melanogaster* за впливу мікрохвильового опромінення: а – самки; б – самці.

Таблиця. Тривалість життя імаго в лінії *Oregon-R Drosophila melanogaster* за впливу мікрохвильового опромінювання

Щільність потужності опромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	Стать	Тривалість життя імаго, кількість діб		
		Медіанна	Час 90%-ї загибелі	Максимальна
Контроль	♀	45,0	72,0	84
	♂	47,6	65,1	78
0,01	♀	42,3*	72,2	84
	♂	42,0*	66,6	72
0,1	♀	42,0	73,0	78
	♂	41,9	60,9	78
1	♀	41,1**	63,3	75
	♂	42,5	72,4	78

Примітки: відмінності порівняно з контролем достовірні за \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ .

Точкові параметри тривалості життя наведені у таблиці. Медіанна тривалість життя за щільності потужності мікрохвиль 0,01 Вт/м<sup>2</sup> у самок була нижчою за контрольні значення на 6,0 %, у самців – на 6,7 %. Час 90 %-ї загибелі у самок був на рівні контролю за щільності потужності 0,01 Вт/м<sup>2</sup>, а за інтенсивності опромінення 1 Вт/м<sup>2</sup> цей показник був знижений на 12,1 %. Максимальна тривалість життя у самок за щільності потужності 0,01 Вт/м<sup>2</sup> була на рівні контролю, а за 1 Вт/м<sup>2</sup> знижувалася на 10,7 %.

У самців за щільності потужності опромінення 0,01 Вт/м<sup>2</sup> медіанна тривалість життя була нижчою за контрольні значення на 11,8 %, час 90%-ї загибелі мух не змінився, а максимальна тривалість життя знизилася на 7,7 %.

Таким чином, отримані дані свідчать про те, що гостре мікрохвильове опромінення з частотою 36,64 ГГц здатне знижувати тривалість життя імаго дрозофіли. Такий вплив виявлено у самок за щільності потужності 0,01 і 1 Вт/м<sup>2</sup>, а у самців – за 1 Вт/м<sup>2</sup>. За інтенсивності 0,1 Вт/м<sup>2</sup> ефекту мікрохвиль не виявлено.

У літературі є достатньо матеріалу щодо впливу ЕМП на різні компоненти пристосованості у дрозофіли. Результати, отримані різними авторами, часто суперечливі, що можна пояснити різними умовами експериментів: частотними характеристиками поля, різною експозицією, щільністю потужності, стадією розвитку організмів, на якій проводився вплив.

Зниження кількості нащадків у дрозофіли за впливу мікрохвиль показано у роботах [14, 15]. За впливу електромагнітного поля з частотою 10 ГГц (3 год експозиції – 30 хвилинний інтервал – 3 год експозиції) середнє число нащадків було значно меншим, ніж у контро-

лі [15]. Подібним чином ЕМП з частотою 10 ГГц (9,8 мВт/кг) знижувало плодючість у дрозофіли за показником яйцепродукції [16].

Зниження фертильності у дрозофіли за мікрохвильового опромінення з довжиною хвилі близько 7 мм спостерігали у роботі Н.П. Залюбовської [17]; за довжини хвиль 5,5 і 8 мм ефекти були меншими.

На противагу цьому, згідно з Вайсброт та ін. [18], за впливу мікрохвиль (1.900 МГц; 1,4 Вт/кг) протягом 10-денного періоду розвитку від часу відкладки яєць до стадії лялечки (60 хв. за 11-ї ранку і 60 хв. за 4-ї вечора щодня) збільшувалася чисельність потомства у дрозофіли.

Дискусійним є питання про можливість індукції мутацій у дрозофіли мікрохвилями. Y. Shckorbatov та співавтори [14] виявили зростання частоти домінантних леталей, індукованих мікрохвильовим випромінюванням (35 ГГц, інтенсивність від 30 до 265 мкВт/см<sup>2</sup>, експозиція 10 с). У роботі [19] після опромінення дрозофіл *in vivo* GSM 900 МГц (глобальна система мобільного телекомунікації) та DCS 1800 МГц (цифрова стільникова система) від цифрового мобільного телефону в клітинах опромінених мух на всіх етапах раннього та середнього оогенезу була виявлена індукована мікрохвилями фрагментація ДНК.

В інших роботах не зареєстрували суттєвої мутагенної дії мікрохвиль. Зокрема, F. Marec та ін. [20] не виявили істотного впливу мікрохвильового випромінювання на частоту зчеплених зі статтю рецесивних летальних мутацій у дрозофіли за частоти 29, 98,5, 146,36 і 2375 МГц, експозиції – 5 хв та щільності потужності в діапазоні 15–25 Вт/см<sup>2</sup>. У роботі [21] було по-

казано, що мікрохвилі з частотою 12 МГц та інтенсивністю до 20 Вт/кг не впливають на гени, що контролюють пігментацію очей у дрозофіли.

Наші попередні дані [22] демонструють зниження частоти домінантних летальних мутацій та частки незапліднених яєць у першому поколінні мух після НВЧ-опромінення за частоти 36,64 ГГц та щільності потужності 1 Вт/м<sup>2</sup>, що може бути інтерпретовано як прояв ефекту гормезису. Однак у поколінні  $F_2$  спостерігали суттєве підвищення цих показників. За щільності потужності 0,01 і 0,1 Вт/м<sup>2</sup> суттєвого впливу мікрохвиль не було виявлено.

Що стосується механізмів дії ЕМП на клітинному та молекулярному рівнях, за даними літератури, мікрохвилі здатні спричинити пошкодження клітинних мембран [23], викликати стрес-реакцію [24, 25], індукувати окислювальний стрес [26]. Мікрохвилі впливають на функціонування клітинного ядра, про що свідчать дослідження електрокінетичних особливостей клітинних ядер і хроматину [27].

Тривалість життя у дрозофіли залежить від роботи багатьох генів, генетичних і епігенетичних механізмів, більшість з яких пов'язана з відповіддю організму на стрес [11]. Зміни експресії генів під впливом мікрохвиль показані, зокрема, у роботах [28, 29].

Згідно R. Arking [30], існують різні варіанти змін параметрів тривалості життя тварин

при зовнішніх впливах: узгоджене зрушення як середньої, так і максимальної величини; варіація середньої при незмінній максимальній тривалості життя; або зміна максимальних при незмінних середніх значеннях. Тривалість життя базується на багатоплановій генетичній архітектурі, різний вік імаго регулюється своїм набором генів. Передбачається, що різні стимули можуть призвести до альтернативних варіантів експресії генів, що викликає появу трьох фенотипів довголіття шляхом зміни патерну експресії генів, що відповідають за підтримання періоду активного функціонування, і/або патерну експресії генів, що характеризують період старіння.

### Висновки

Гостре мікрохвильове опромінення за частоти 36,64 ГГц та експозиції 10 секунд здатне впливати на тривалість життя імаго дрозофіли. Ефект залежить від статі та інтенсивності фактора. У самок виявлено зниження тривалості життя за щільності потужності 0,01 і 1 Вт/м<sup>2</sup>: медіана знизилася відповідно на 6,0 % і 8,7 % ( $p < 0,05$ ). У самців зниження тривалості життя встановлено за щільності потужності мікрохвиль 1 Вт/м<sup>2</sup>: медіана знизилася на 11,8 % ( $p < 0,05$ ). За інтенсивності 0,1 Вт/м<sup>2</sup> ефекту мікрохвиль не виявлено.

### Література

1. Shckorbatov Y. The main approaches of studying the mechanisms of action of artificial electromagnetic fields on cell // Journal of Electrical & Electronic Systems. – 2014. – V. 3 (2) – p. 123. doi: 10.4172/2332-0796.1000123.
2. WHO/International Agency for Research on Cancer (IARC). – Press Release. – 2011. – N° 208, 31 May.
3. WHO International EMF Project [Electronic resource]. – 1997. – Mode of access: www.who.int/entity/peh-emf/en.
4. Medawar P.B. Old age and natural death // Modern Quarterly. – 1946. – V. 2. – P. 30–49.
5. Виленчик М.М. Молекулярные механизмы старения. – М.: Наука, 1970. – 168 с.
6. Harman D. Origin and evolution of the free radical theory of aging: a brief personal history, 1954–2009 // Biogerontology. – 2009. – V. 10. – P. 773–781.
7. Williams G.C. Pleiotropy, natural selection and the evolution of senescence // Evolution. – 1957. – V. 11. – P. 398–411.
8. Скулачев В.П. Старение организма – особая биологическая функция, а не результат поломки сложной живой системы: биохимическое обоснование концепции Вейсмана // Биохимия. – 1997. – Т. 62. – С. 1369–1399.
9. Linnane A.W., Marzuki S., Ozawa T., Tanaka M. Mitochondrial DNA mutations as an important contributor to ageing and degenerative diseases // Lancet. – 1989. – V. 1. – P. 642–645.
10. Vaiserman A.M. Transgenerational Inheritance of Longevity: An Epigenetic Phenomenon? [Electronic resource] // J. Gerontol. Geriat. Res. – 2012. – V. 1, № 4. – Mode of access: doi: 10.4172/2167-7182.1000e116.
11. Moskalev A., Aliper A., Smit-McBride Z., Buzdin A., Zhavoronkov A. Genetics and epigenetics of aging and longevity // Cell Cycle. – 2014. – V. 13, № 7. – p. 1063–1077.
12. Крутько В.Н., Славин М.Б., Смирнова Т.М. Математические основания геронтологии. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 384 с.
13. Гланц С. Медико-биологическая статистика. – М.: Практика, 1998. – 459 с.
14. Shckorbatov Y., Pasiuga V., Shakina L., Grabina V., Kolchigin N., Ivanchenko D., Kazansky O., Bykov V. *Drosophila melanogaster* viability and mutability under the influence of low energy microwave monochromatic and ultra wideband impulse field // 6-th International Conference on Antenna Theory and Techniques (17–21 September 2007, Sevastopol, Ukraine). – 2007. – p. 289–291.

15. Atli E., Unlu H. The effects of microwave frequency electromagnetic fields on the development of *Drosophila melanogaster* // Int. Journ. Radiat. Biol. – 2006. – V. 82. – P. 435–441.
16. Atli E., Unlu H. The effects of microwave frequency electromagnetic fields on the fecundity of *Drosophila melanogaster* // Turk. Journ. Biol. – 2007. – V. 31. – P. 1–5.
17. Залюбовская Н.П. Реакция живых организмов на действие электромагнитных миллиметровых волн // Успехи физических наук. – 1973. – Т. 110. – С. 462–464.
18. Weisbrot D., Lin H., Ye L., Blank M., Goodan R. Effects of mobile phone radiation on reproduction and development in *Drosophila melanogaster* // Journal of Cell Biochemistry. – 2003. – V. 89. – P. 48–55.
19. Panagopoulos D.J., Chavdoula E.D., Nezis I.P., Margaritis L.H. Cell death induced by GSM 900-MHz and DCS 1800-MHz mobile telephony radiation // Mutation Research. – 2007. – V. 626. – P. 69–78.
20. Marec F., Ondracek J., Brunnhofer V. The effect of repeated microwave irradiation on the frequency of sex-linked recessive lethal mutations in *Drosophila melanogaster* // Mutation Research. – 1985. – V. 157. – P. 163–167.
21. Hamnerius Y., Rasmuson A., Rasmuson B. Biological effects of high frequency electromagnetic fields on *Salmonella typhimurium* and *Drosophila melanogaster* // Bioelectromagnetics. – 1985. – V. 6. – P. 405–414.
22. Дика Л.Д., Страшнюк В.Ю., Шкорбатов Ю.Г. Компоненти пристосованості у *Drosophila melanogaster* за впливу мікрохвильового опромінювання // Вісник Харківського нац. ун-ту імені В. Н. Каразіна. Серія «Біологія». – 2016. – № 26. – С. 65–73.
23. Shkorbatov Y.G., Pasiuga V.N., Kolchigin N.N., Grabina V.A., Ivanchenko D.D., Bykov V.I., Dumin O.M. Cell nucleus and membrane recovery after exposure to microwaves. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. – 2011. – Section B 65 (672/673):13–20.
24. Ennamany R., Fitoussi R., Vie K., Rambert J., Benetti L.D., Mossalayi M.D. Exposure to electromagnetic radiation induces characteristic stress response in human epidermis // Journal of Investigative Dermatology. – 2008. – V. 128. – P. 743–746. doi: 10.1038/sj.jid.5701052.
25. Vijayalaxmi, Cao Y., Scarfi M.R. Adaptive response in mammalian cells exposed to non-ionizing radiofrequency fields: A review and gaps in knowledge // Mutation Research – Review in Mutation Research. – 2014. – V. 270. – P. 36–45.
26. Yakymenko I., Tsybulin O., Sidorik E., Henshel D., Kyrylenko O., Kyrylenko S. Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation // Electromagnetic Biology and Medicine. – 2015. – V. 19. – P. 1–16.
27. Шахбазов В.Г., Шкорбатов Ю.Г., Грабина В.А. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на электрокинетические свойства хроматина и клеточных ядер // Молекулярная генетика и биофизика. – 1992. – № 16. – С. 30–33.
28. Nylund R., Tammio H., Kuster N., Leszczynski D. Proteomic analysis of the response of human endothelial cell line EA.hy926 to 1800 GSM mobile phone radiation // Journal of Proteomics & Bioinformatics. – 2009. – V. 2 (10). – P. 455–462.
29. Shakina L.A., Pasiuga V.N., Dumin O.M., Shkorbatov Yu.G. Effects of microwaves on the puffing pattern of *D. melanogaster* // Central European Journal of Biology. – 2011. – V. 6 (4). – P. 524–530.
30. Arking R. Strategies for stage-specific extension of longevity // In: Life Extension, Healthy Ageing and Longevity, Life Extension: Lessons from *Drosophila* / A.M. Vaiserman et al. (eds.). – Switzerland: Springer International Publishing, – 2015. – V. 3. – P. 321–347. doi: 10.1007/978-3-319-18326-8\_1.

**DYKA L.D., STRASHNYUK V.Yu.**

V.N. Karazin National University of Kharkiv,  
Ukraine, 61022, Kharkiv, Svoboda sq., 4, e-mail: lilya\_dikaya@ukr.net, volodymyr.strashnyuk@gmail.com

**LIFESPAN IN ADULTS OF *DROSOPHILA MELANOGASTER* MEIG. AFTER EXPOSURE TO MICROWAVE IRRADIATION**

**Aim.** The purpose of investigation was to study the effect of microwave irradiation of varying intensity to lifespan in adults of *Drosophila melanogaster* Meig. **Methods.** Experiments were carried out on wild type *Oregon-R* strain. Two-day-old flies were irradiated by microwaves (frequency – 36.64 GHz, exposure time – 10 sec). The power density was 0.01, 0.1 and 1 W/m<sup>2</sup>. Lifespan was examined in the irradiated and non-irradiated (control) flies. **Results.** The females showed a reduction in life expectancy by power density of 0.01 and 1 W/m<sup>2</sup>, median decreased respectively by 6.0 % and 8.7 % (p < 0.05). In males, reduced life expectancy was found by microwave power density of 1 W/m<sup>2</sup>, the median fell by 11.8 % (p < 0.05). No effect was detected by irradiation intensity of 0.1 W/m<sup>2</sup>. **Conclusions.** Exposure to microwave irradiation can reduce the lifespan in *Drosophila* adults. The effect depends on the sex and power density of microwaves.

**Keywords:** *Drosophila melanogaster*, lifespan, non-ionising radiations.