БІОЛОГІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-4-92-2>

УДК 577.352

Яремчук М.М., Дика М.В.

Львівський національний університет імені Івана Франка

СТАН ПЕРЕКИСНОГО ОКИСНЕННЯ ЛІПІДІВ ЗАРОДКІВ В'ЮНА УПРОДОВЖ ЕМБРІОГЕНЕЗУ ЗА ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Анотація. У статті досліджено вміст продуктів перекисного окиснення ліпідів у зародків в'юна за впливу електромагнітного випромінювання (ЕМВ) різної інтенсивності (за густиною потоку електромагнітної енергії (ГПЕ)) на початкових стадіях розвитку. Встановлено, що за впливу електромагнітного випромінювання спостерігається зростання інтенсивності процесів перекисного окиснення ліпідів на ранніх стадіях розвитку. Максимального значення досліджуваного показника досягає на стадіях 256 та 1024 бластомерів за впливу ЕМВ радіодіапазону потужністю 7 мкВт/см² (тривалість опромінення 10 хв) та на стадії 1024 бластомерів за впливу ЕМВ радіодіапазону потужністю 30 мкВт/см² (тривалість 20 хв), щодо контролю. Отримані результати вказують на активацію процесів вільнорадикального окиснення ліпідів упродовж ембріогенезу за умов впливу електромагнітного випромінювання.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання, зародки в'юна, перекисне окиснення ліпідів.

Yaremchuk Mariia, Dyka Mariia

Ivan Franko National University of Lviv

THE STATE OF LIPID PEROXIDATION IN LOACH EMBRYOS DURING EMBRYOGENESIS UNDER THE INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC RADIATION

Summary. Mobile phone usage has become an integral part of our lives. However, the effects of the electromagnetic radiation (EMR) emitted by these devices on biological systems are currently under active debate. The article investigates the content of lipid peroxidation products in loach embryos under the influence of electromagnetic radiation (EMR) of various intensities (energy flux densities of electromagnetic waves) during the initial stages of development. The study was performed on fish embryos of *Misgurnus fossilis* L. at stages 2, 16, 64, 256, 1024 blastomeres, which correspond to 60, 150, 210, 270 and 330 minutes after fertilization of eggs. Mobile phones connected to the Ukrainian mobile operator Kyivstar were used as a source of 900 MHz GSM electromagnetic waves. The mobile phone was in talk mode and was above the Petri dishes at a distance of 3 cm. In the experiment, we used mobile phones with different energy flux densities of electromagnetic waves (7 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ and 30 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$). The intensity of lipid peroxidation processes was determined by the accumulation of thiobarbituric acid (TBA)-positive products. In this study, we observed significant increase of lipid peroxidation products under the influence of phone radiation on fish embryos at stages 2, 16, 64, 256, 1024 blastomeres. Accumulation of TBA-positive products significantly increased at stages 2, 16, 64, and 256 of blastomeres under the influence of EMR (7 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) for 20 minutes. The intensity of free radical oxidation increased compared with control by 69 $\pm$ 4%, 88 $\pm$ 3%, 77 $\pm$ 5%, 73 $\pm$ 6%, respectively. The maximum level of TBA-positive products reaches at the stage of 64 blastomeres, compared with control. EMR (30 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) exposure for 20 minutes causes a significant increase in the content of lipid peroxidation products during loach early embryogenesis. The maximum level of TBA-positive products reaches at the stage of 1024 blastomeres and is 0.76 $\pm$ 0.01 $\mu\text{mol}/\text{mg}$ protein, compared with control. The present paper shows, that the intensity of lipid peroxidation processes increased in the early stages of development under the influence of electromagnetic radiation.

Keywords: electromagnetic radiation, loach embryos, lipid peroxidation.

Постановка проблеми. Впродовж останніх десятиліть зростає інтерес до вивчення впливу електромагнітного випромінювання на живі об'єкти, джерелом якого є мобільний телефон. Це пов'язано із бурхливим розвитком мобільних технологій, що стали невід'ємною частиною сучасного суспільства. Відомо, що ЕМВ викликає різноманітні функціональні зміни в нервовій, ендокринній, репродуктивній, імунній, кровотворній та інших системах організму людини та тварин [2–8]. Незважаючи на низку експериментальних досліджень дії електромагнітного випромінювання на живі системи, залишається невисвітленим питання впливу ЕМВ на процеси

ліпопероксидації впродовж ембріогенезу. З огляду на це, дослідження впливу ЕМВ на процеси запліднення та розвитку, має, як практичне, так і теоретичне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що ЕМВ викликає збільшення вмісту вільних радикалів у клітинах [2; 4; 7]. Дослідження на тваринах *in vivo* показали, що оксидативний стрес розвивається у відповідь на дію ЕМВ [4; 7; 8]. Електромагнітне випромінювання порушує метаболізм активних форм кисню (АФО) за рахунок збільшення їх кількості, або зменшення активності ферментів антиоксидантного захисту [4].

Для радіовипромінювання з інтенсивністю $0,25 \text{ мкВт/см}^2$ на перепелині ембріони має виражений прооксидантний ефект у тканинах печінки, серця, мозку впродовж 38 годин – 10 діб розвитку. Зокрема, встановлено зростання рівня супероксидних радикалів та оксиду азоту у тканинах опромінених ембріонів, щодо контролю. Опромінення перепелиних зародків призводить до інтенсифікації ліпопероксидації [4].

Відомо, що основною мішенню дії ЕМВ є ДНК [2; 4]. Зокрема, спостерігається збільшення кількості хромосомних аберацій, розривів хромосом, пошкоджень ДНК у лімфоцитах крові осіб, які піддавали впливу електромагнітного випромінювання [5].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Порухення процесів перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) свідчить про розвиток патологічних процесів у живих системах. Кількість цих сполук може свідчити про ступінь впливу різних факторів на організм та його адаптаційну здатність.

Таким чином, дослідження вмісту продуктів перекисного окиснення ліпідів за впливу опромінення мобільним телефоном із різним значенням ГПЕ, може бути інформативним і розширити уявлення про особливості перебігу вільнорадикальних процесів у зародкових клітинах упродовж раннього розвитку.

Мета статті: визначити вплив електромагнітного випромінювання із різними значеннями величин ГПЕ (7 мкВт/см^2 та $30,1 \text{ мкВт/см}^2$) на зміни вмісту продуктів перекисного окиснення ліпідів у зародків в'юна упродовж ембріогенезу.

Виклад основного матеріалу. Дослідження проводили на зародках прісноводної риби в'юна *Misgurnus fossilis* L. на стадіях розвитку 2, 16, 64, 256, 1024 бластомерів, що відповідає 60, 150, 210, 270 і 330 хв після запліднення яйцеклітин. Як джерело електромагнітних хвиль 900 МГц GSM використовували мобільні телефони, підключені до українського оператора мобільного зв'язку Київстар. Мобільний телефон перебував у режимі розмови і знаходився над чашками Петрі на відстані 3 см. В експерименті нами використані мо-

більні телефони Nokia 5230 та Sony Ericsson K750i в режимі розмови. Густина потоку електромагнітної енергії (ГПЕ) мобільного телефона для моделі Nokia 5230 (режим розмови) становить 7 мкВт/см^2 , а для моделі Sony Ericsson K750i – 30 мкВт/см^2 . Отримані зиготи опромінювали одноразово після запліднення. Для кожної серії експериментів було сформовано дві групи зародків. Одна група піддавалась опроміненню мобільним телефоном, а друга слугувала контролем. Контрольні і дослідні групи зародків розвивались в різних чашках Петрі. Інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів визначали за накопиченням ТБК-позитивних продуктів (комплексів альдегідів з 2-тіобарбітуровою кислотою) [1].

Встановлено, що за впливу електромагнітного випромінювання вміст досліджуваних продуктів ПОЛ змінювався у зародків в'юна упродовж ембріогенезу (рис. 1–4). На стадіях розвитку 2, 16, 64 та 256 бластомерів за впливу ЕМВ (7 та 30 мкВт/см^2) протягом 1 хв вміст ТБК-позитивних продуктів зростає на 42–53 % (рис. 1). Незначне зростання (~ 10 %), порівняно з контролем, спостерігається на стадії 1024 бластомерів розвитку зародків в'юна.

Інша тенденція відмічена у зміні вмісту вторинних продуктів ліпопероксидації за тривалості опромінення 5 хв за впливу ЕМВ потужністю 7 мкВт/см^2 (рис. 2). Вміст ТБК-позитивних продуктів не змінюється на стадіях розвитку 2 та 16 бластомерів, тоді як на стадії 64, 256, 1024 бластомерів досягає значень $0,93 \pm 0,04$; $0,53 \pm 0,01$, $0,99 \pm 0,03$ мкмоль/мг білка, що на 94 ± 8 %, 17 ± 3 %, $98 \pm 4,6$ %, більше, ніж у контролі.

За впливу ЕМВ потужністю 30 мкВт/см^2 та тривалості опромінення 5 хв (рис. 2) вміст ТБК-позитивних продуктів зростає на стадіях 2, 16, 64 та 256 бластомерів, а на стадії 1024 бластомерів спостерігається вірогідне зниження досліджуваного показника.

За впливу ЕМВ радіодіапазону тривалістю 10 хв та потужністю 7 мкВт/см^2 спостерігається достовірне зростання ТБК-позитивних продуктів, порівняно з контролем (рис. 3). Максималь-

Рис. 1. Вміст ТБК-позитивних продуктів зародків в'юна за впливу електромагнітного випромінювання (7 мкВт/см^2 та 30 мкВт/см^2) тривалістю 1 хв упродовж ембріогенезу

Тут і надалі: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$ – достовірні зміни, порівняно з контролем; ($M \pm m$, $n = 7-10$).

Рис. 2. Вміст ТБК-позитивних продуктів зародків в'юна за впливу електромагнітного випромінювання (7 мкВт/см² та 30 мкВт/см²) тривалістю 5 хв упродовж ембріогенезу

Рис. 3. Вміст ТБК-позитивних продуктів зародків в'юна за впливу електромагнітного випромінювання (7 мкВт/см² та 30 мкВт/см²) тривалістю 10 хв упродовж ембріогенезу

Рис. 4. Вміст ТБК-позитивних продуктів зародків в'юна за впливу електромагнітного випромінювання (7 мкВт/см² та 30 мкВт/см²) тривалістю 20 хв упродовж ембріогенезу

ного значення досліджуваний показник досягає на стадіях 256 та 1024 бластомерів, що в 2,3-3 рази перевищує показник контролю.

Інтенсивність процесів ліпопероксидації в зародків в'юна на стадіях 2, 16, 64 та 256 бластомерів за дії ЕМВ радіодіапазону (30 мкВт/см²) тривалістю 10 хв вірогідно зростає, порівняно з контролем. Зокрема, на цих стадіях розвитку відмічено зростання вмісту ТБК-позитивних продуктів на 17–25 %, щодо контролю. Однак, на останній із досліджуваних стадій спостерігається зниження ТБК-позитивних продуктів на 25 ± 2 %, порівняно з контролем.

За впливу ЕМВ (7 мкВт) тривалістю 20 хв (рис.4) встановлено істотне зростання вмісту вторинних продуктів ліпопероксидації на стадіях розвитку 2, 16, 64 та 256 бластомерів. Інтенсивність вільнорадикальних реакцій, за вмістом вторинного продукту процесів ПОЛ, зростає відносно контролю на 69 ± 4 %, 88 ± 3 %, 77 ± 5 %, 73 ± 6 %, відповідно. Максимального рівня вміст ТБК-позитивних продуктів досягає на стадії 64 бластомерів і становить $0,85 \pm 0,03$ мкмоль/мг білка, щодо контролю.

За впливу ЕМВ (30 мкВт) тривалістю 20 хв (рис. 4) відмічено вірогідне зростання ТБК-

позитивних продуктів на усіх досліджуваних стадіях розвитку зародків в'юна. Максимального рівня вміст ТБК-позитивних продуктів досягає на стадії 1024 бластомерів і становить $0,76 \pm 0,01$ мкмоль/мг білка, щодо контролю.

Важливим для розуміння механізму дії електромагнітного випромінювання на клітину та розвиток організму в цілому є порівняння ефектів впливу ЕМВ, джерелом якого є мобільні телефони з різними характеристиками (ГПЕ) та різною тривалістю опромінення. Однак, нами не зафіксовано прямої залежності змін вмісту ТБК-позитивних продуктів від тривалості опромінення ембріонів та електромагнітного випромінювання різної інтенсивності.

Висновки і перспективи. Таким чином, отримані нами результати щодо вмісту ТБК-позитивних продуктів за впливу ЕМВ вказують на активацію процесів вільнорадикального окиснення ліпідів упродовж ембріогенезу зародків в'юна. Отримані результати дають підставу вважати, що електромагнітне випромінювання, джерелом якого є мобільні телефони, спричиняє інтенсифікацію процесів перекисного окиснення ліпідів у ембріонів в'юна.

Список літератури:

1. Тимирбулатов Р. А., Селезнев Е. И. Метод повышения интенсивности свободнорадикального окисления липид-содержащих компонентов крови и его диагностическое значение. *Лабораторное дело*. 1981. № 4. С. 209–211.
2. Якименко И. Л., Хеншель Д., Сидорик Е. П., Цыбулин А. С., Розумнюк В. Т. Влияние электромагнитного излучения мобильного телефона на сомитогенез птицы. *Доповіди НАН України*. 2011. № 1. С. 146–152.
3. Bodera P., Stankiewicz W., Zawada K., Antkowiak B., Paluch M., Kieliszek J., Kalicki B., Bartosiński A., Wawer I. Changes in antioxidant capacity of blood due to mutual action of electromagnetic field (1800 MHz) and opioid drug (tramadol) in animal model of persistent inflammatory state. *Pharmacological Reports*. 2013. V. 65. P. 421–428.
4. Burlaka A., Tsybulin O., Sidorik E., Lukin S., Polishuk V., Tsehmistrenko S., Yakymenko I. Overproduction of free radical species in embryonal cells exposed to low intensity radiofrequency radiation. *Experimental Oncology*. 2013. V. 35. P. 219–225.
5. Garaj-Vrhovac V., Orescanin V. Assessment of DNA sensitivity in peripheral blood leukocytes after occupational exposure to microwave radiation: the alkaline comet assay and chromatid breakage assay. *Cell Biology and Toxicology*. 2009. V. 25. № 1. P. 33–43.
6. Kesari K. K., Siddiqui M. H., Meena R., Verma H. N., Kumar S. Cell phone radiation exposure on brain and associated biological systems. *Indian Journal of Experimental Biology*. 2013. V. 51. № 3. P. 187–200.
7. Khalil A. M., Abu Khadra K. M., Aljaberi A. M., Gagaa M. H., Issa H. S. Assessment of oxidant / antioxidant status in saliva of cell phone users. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2014. V. 33. № 2. P. 92–97.
8. Naziroglu M., Yuksel M., Kose S. A., Ozkaya M. O. Recent reports of Wi-Fi and mobile phone induced radiation on oxidative stress and reproductive signaling pathways in females and males. *Journal of Membrane Biology*. 2013. V. 246. P. 869–875.

References:

1. Timirbulatov R. A., Seleznev E. I. (1981) Metod povysheniya intensivnosti svobodnoradikal'nogo okisleniya lipidsoderzhashchikh komponentov krovi i ego diagnosticheskoe znachenie [The method of increasing the intensity of free radical oxidation of lipid-containing blood components and its diagnostic value]. *Laboratornoe delo*, no. 4, pp. 209–211.
2. Yakimenko I. L., Khenshel' D., Sidorik E. P., Tsybulin A. S., Rozumnyuk V. T. (2011) Vliyanie elektromagnitnogo izlucheniya mobil'nogo telefona na somitogenez ptitsy [Influence of mobile phone electromagnetic radiation on avian somitogenesis]. *Dopovidi NAN Ukrainy*, no. 1, pp. 146–152.
3. Bodera P., Stankiewicz W., Zawada K., Antkowiak B., Paluch M., Kieliszek J., Kalicki B., Bartosiński A., Wawer I. (2013) Changes in antioxidant capacity of blood due to mutual action of electromagnetic field (1800 MHz) and opioid drug (tramadol) in animal model of persistent inflammatory state. *Pharmacological Reports*, vol. 65, pp. 421–428.
4. Burlaka A., Tsybulin O., Sidorik E., Lukin S., Polishuk V., Tsehmistrenko S., Yakymenko I. (2013) Overproduction of free radical species in embryonal cells exposed to low intensity radiofrequency radiation. *Experimental Oncology*, vol. 35, pp. 219–225.
5. Garaj-Vrhovac V., Orescanin V. (2009) Assessment of DNA sensitivity in peripheral blood leukocytes after occupational exposure to microwave radiation: the alkaline comet assay and chromatid breakage assay. *Cell Biology and Toxicology*, vol. 25, no 1, pp. 33–43.
6. Kesari K. K., Siddiqui M. H., Meena R., Verma H. N., Kumar S. (2013) Cell phone radiation exposure on brain and associated biological systems. *Indian Journal of Experimental Biology*, vol. 51, no. 3, pp. 187–200.
7. Khalil A. M., Abu Khadra K. M., Aljaberi A. M., Gagaa M. H., Issa H. S. (2014) Assessment of oxidant / antioxidant status in saliva of cell phone users. *Electromagnetic Biology and Medicine*, vol. 33, no. 2, pp. 92–97.
8. Naziroglu M., Yuksel M., Kose S. A., Ozkaya M. O. (2013) Recent reports of Wi-Fi and mobile phone induced radiation on oxidative stress and reproductive signaling pathways in females and males. *Journal of Membrane Biology*, vol. 246, pp. 869–875.