

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ПОЗИТИВНИХ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР НА РЕПРОДУКТИВНУ ФУНКЦІЮ

Літовченко О.Л.¹, Перова І.Г.²

¹Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харківський національний
медичний університет,²Харківський національний університет радіоелектроніки
м. Харків, Україна

У статті наведено метод визначення інтенсивності сполученого впливу електромагнітного випромінювання та позитивної низької температури на репродуктивну функцію, що розроблений на основі методів обчислювального інтелекту. Зазначений підхід дозволив визначити найбільш інформативні показники розвитку біологічних ефектів з боку репродуктивної функції (концентрація сперматозоїдів, кількість рухомих сперматозоїдів, кількість нерухомих сперматозоїдів), а також встановити частку внеску кожного з факторів у розвиток патологічного процесу (електромагнітне випромінювання 54%, позитивні низькі температури 46%). Результати розробки даного методу дозволяють обґрунтувати заходи профілактики несприятливого впливу комплексу чинників на організм.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання, позитивні низькі температури, сполучена дія, репродуктивна система, обчислювальний інтелект

Вступ

Навколишнє середовище, яке нас оточує складається з комплексу факторів різної природи, які є специфічними для даного періоду. Як результат організм піддається складному, сполученому або комбінованому впливу чинників. У таких комбінаціях факторів біологічній системи утворюють цілий комплекс відповідей в органах і системах, які залежать від сили, концентрації і часу дії цих факторів [1,2].

Постійне пристосування до мінливих природних кліматичних умов

супроводжується збільшенням навантажень на організм комплексом антропогенних факторів. Наразі спостерігається повсюдне збільшення як числа промислових об'єктів, так і збільшення об'ємів технологічних процесів, які пов'язані з повною автоматизацією виробництва за допомогою смарт-систем. Разом з тим, такі технології супроводжуються використанням широкого спектру фізичних чинників, а саме генерацією електромагнітних полів (ЕМП) різних за своєю характеристикою, що дає вагомий внесок у забруднення

виробничого та природного середовища електромагнітним випромінюванням (ЕМВ), яке є потенційно небезпечним для здоров'я [3-6-8].

Серед багатьох чинників, що впливають на здоров'я посідають чинники виробничого середовища, у тому числі несприятливі мікрокліматичні умови та ЕМВ. Сполучена дія на організм ЕМВ на рівні ефективних доз у сполученні з мікрокліматичними умовами може обумовлювати несприятливий вплив на спроможність до адаптації організму [1].

Вплив екологічних факторів на здоров'я реалізуються безпосереднім або опосередкованим впливом на тканини-мішені, однією з таких мішеней є чоловіча репродуктивна система. Порушення репродуктивної функції сприяє розвитку чоловічої субфертильності та безпліддю, виникнення мутацій у чоловічих статевих клітинах, які можуть передаватись наступним поколінням, порушуючи генофонд популяції [9-11].

З точки зору професійної та екологічної медицини постає необхідність удосконалення методів встановлення взаємозв'язку здоров'я з навколишнім середовищем. Актуальністю у даному науковому напрямку є визначення, за допомогою математичних підходів, характеру сполученого впливу екологічних чинників, а також встановити частки внеску кожного з факторів, які діють, що дозволить своєчасно усувати причини впливу і

можливих негативного наслідків на здоров'я людини.

Метою роботи було розробити метод визначення інтенсивності сполученого впливу електромагнітного випромінювання та позитивної низької температури на репродуктивну функцію з визначенням інформативних показників розвитку біологічних ефектів.

Матеріали та методи

В умовах лабораторних був змодульований підгострий експеримент тривалістю 30 діб. Біологічним об'єктом дослідження були щури-самці лінії WAG (n=24), яких розподілили порівну на 4 піддослідні групи: група ізольованого впливу позитивних низьких температур ($+4\pm 2^{\circ}\text{C}$), група ізольованого впливу електромагнітного випромінювання (70кГц, 600 В/м), група сполученого впливу факторів та група контролю. Дослідні групи піддавалися впливу факторів по 4 години 5 разів на тиждень. Щури піддавалися впливу факторів у спеціальній затравочній камері [12].

Для виявлення змін функціонального стану сперматозоїдів, після проведення експозиції тварин піддавали евтаназії у повній відповідності до Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей (Страсбург, 1986 р.), Закону України "Про захист тварин від жорстокого поводження", Council Directive 2010/63/EU, Правил проведення

робіт з використанням експериментальних тварин, затверджених МОЗ України № 755.

Визначення впливу ЕМВ та позитивних низьких температур на репродуктивну функцію визначали за показниками: концентрація сперматозоїдів, час їх руху, кількість рухомих, кількість нерухомих, кількість мертвих, кислотна резистентність, осмотична резистентність, концентрація морфологічно нормальних форм та концентрація патологічних форм, які визначалися на етапах 5, 15 та 30 діб експерименту.

Характер біологічних ефектів при дії комплексу чинників, найбільш інформативні показники та встановлення частки внеску чинників у загальний ефект визначали за допомогою факторного та кластерного аналізів [13].

З точки зору математичного підходу було отримано дані, що мали вигляд багатомірних часових рядів. вигляду: $X(k) = \{x_{il}(k)\}$, де $k = 1, \dots, N$ - кількість щурів ($N=24$), $i = 1, \dots, n$ - кількість часових рядів для кожного щура (у нашому випадку $n = 9$),

$l = 1, \dots, q$ - кількість відліків часового ряду для кожного щура ($q = 3$).

На першому етапі було проведено визначення ступеню належності усіх груп дослідження до групи комбінованого впливу за показниками: функціонального стану сперматозоїдів.

Для цього проведено розрахунок центру кластерів кожної із груп. На другому етапі розраховані відстані між відповідними центрами кластерів за формулою:

$$d(c_{il}, c_{il}) = \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^q |c_{il} - c_{il}|$$

1) між групою ізольованого впливу ЕМВ та групою комбінованого впливу на 5-ту добу dist_E5, на 15-ту добу dist_E15 та на 30-ту добу dist_E30.

2) між групою ізольованого впливу холодом та групою комбінованого впливу на 5-ту добу dist_X5, на 15-ту добу dist_X15 та на 30-ту добу dist_X30.

Після розрахунку відстані була визначена ступінь належності кожної з груп дослідження до контрольної групи за формулою:

$$md = \frac{d^{-1}}{\sum(d^{-1})}$$

Наступним етапом було визначення інформативності показників функціонального стану сперматозоїдів шляхом визначення вкладу кожної з ознак (вимірних показників) до першої головної компоненти моделі факторного аналізу.

Перша головна компонента визначається як:

$$\tilde{z}^{(1)}(X) = l_1 \cdot X,$$

де l_1 - перший рядок матриці L, власний вектор коваріаційної матриці Σ , що

відповідає найбільшому власному числу цієї матриці.

$$\Sigma = (\sigma_{kj}), \quad (k, j = 1, \dots, p),$$

$$\sigma_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i^{(k)} - \bar{x}^{(k)})(x_i^{(j)} - \bar{x}^{(j)})}{n},$$

$$\bar{x}^{(j)} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^{(j)}}{n}.$$

Далі обчислювалася відстань між всіма ознаками та першою головною компонентою:

$$d(x_{il}(z), \hat{y}_{il}^{(1)}) = \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^q |x_{il}(k) - \tilde{z}_{il}^{(1)}(X)|$$

Та ознака, що мала найменшу відстань приймалася найбільш інформативною.

Результати

Ступінь належності для групи ізольованого впливу ПНТ на 5 добу експерименту склала $\mu_{X5} = 0.5510$, а ступінь належності для групи ізольованого впливу ЕМВ – $\mu_{E5} = 0.4490$ (рис. 1)

На 15 добу експерименту ступінь належності для групи ізольованого впливу ПНТ склала $\mu_{X15} = 0.4814$, для групи ізольованого впливу ЕМВ $\mu_{E15} = 0.5186$ (рис. 2)

На 30 добу ступінь належності для групи ізольованого впливу ЕМВ склала $\mu_{E30} = 0.6782$, для групи ізольованого впливу ПНТ $\mu_{X30} = 0.3218$ (рис. 3)

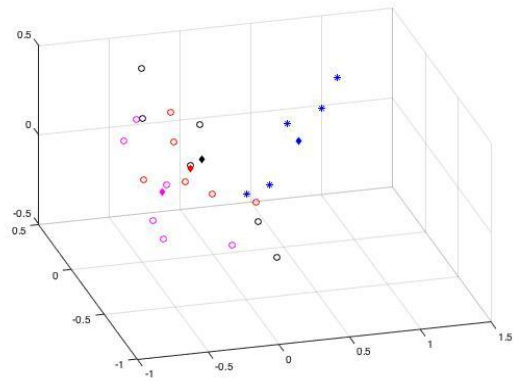


Рис. 1. Ступінь належності електромагнітного випромінювання та позитивних низьких температур на 5-ту добу експерименту

Примітки: \circ – електромагнітне випромінювання; \circ – позитивні низькі температури; \bullet – сполучена дія факторів; * – контрольна група; \blacklozenge – центри кластерів.

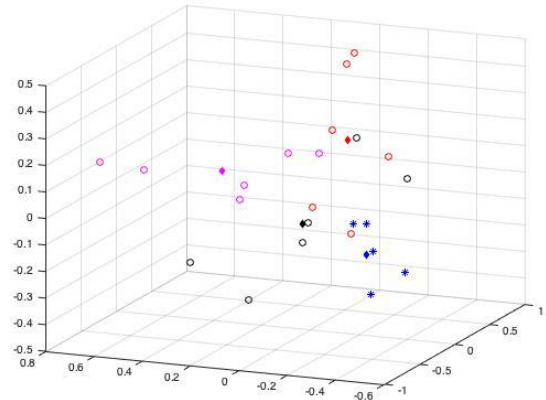


Рис. 2. Ступінь належності електромагнітного випромінювання та позитивних низьких температур на 15-ту добу експерименту

Примітки: \circ – електромагнітне випромінювання; \circ – позитивні низькі температури; \bullet – сполучена дія факторів; * – контрольна група; \blacklozenge – центри кластерів.

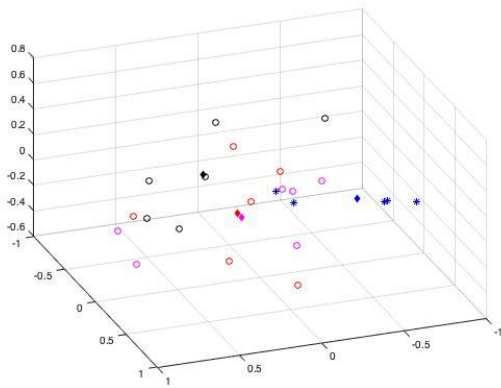


Рис. 3. Ступінь належності електромагнітного випромінювання та позитивних низьких температур на 30-ту добу експерименту

Примітки: ○ – електромагнітне випромінювання; ○ – позитивні низькі температури; ● – сполучена дія факторів; * – контрольна група; ◆ – центри кластерів.

Таким чином сумарна ступінь належності складала для ПНТ $\mu_X = 0.4545$, а для ЕМВ $\mu_E = 0.5455$.

За допомогою факторного аналізу встановлені найбільш інформативні ознаки, а саме: кількість рухомих клітин, кількість нерухомих клітин, концентрація клітин.

Висновки

Метод визначення інтенсивності, розроблений на основі факторного та кластерного аналізів дозволив визначити, що найбільш інформативними показниками сполученого впливу ЕМВ та ПНТ на репродуктивну функцію слід вважати: концентрацію сперматогенних клітин у сім'яній рідині, кількість рухомих

сперматозоїдів, кількість нерухомих сперматозоїдів. При цьому доведено, що частка внеску у загальний ефект сполученого впливу факторів розподілилась на 54 % дії ЕМВ та 46 % дії ПНТ. Проведені експериментальні дослідження сполученого впливу ЕМВ та ПНТ дозволили отримати характеристику біологічних ефектів такого впливу, визначити провідну роль чинників у їх розвитку, а також спрогнозувати можливість змін відповідних реакцій організму під впливом зазначених чинників в умовах зміни інтенсивності та тривалості впливу. Подальші дослідження будуть присвячені розробці методології апробації запропонованого методу у різних експериментальних умовах.

Література

1. Belyaev I., Dean A., Eger H., Hubmann G., Jandrisovits R., Kern M. et al. EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. Rev Environ Health. 2016. 1;31(3):P.363-97. doi: 10.1515/reveh-2016-0011
2. Назаренко В.І. До питання модулюючого впливу деяких фізичних факторів на біологічну дію ЕМП 50 Гц. Довкілля та здоров'я. 2009. № 4.38-43
3. Manzetti S., Johansson O. Global electromagnetic toxicity and frequency-induced diseases: theory and short overview. Pathophysiology. V.19.2012.Iss.3.P.185–191.

4. Губернский Ю.Д., Гошин М.Е., Калинина Н.В., Банин И.М. Гигиенические аспекты электромагнитного загрязнения современного жилища. Гигиена и санитария. 2016. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gigienicheskie-aspekty-elektromagnitnogo-zagryazneniya-sovremennogo-zhilischa>.

5. Phillips J.L., Singh N.P., Lai H. Electromagnetic fields and DNA damage. *Pathophysiology*. 2009. Vol 16, no. 2-3, pp. 79-88. doi: 10.1016/j.pathophys.2008.11.005.

6. Singh S., Kapoor N. Health Implications of Electromagnetic Fields, Mechanisms of Action, and Research Needs. *Advances in Biology*. 2014. Vol. 2014. 24 p. Article ID 198609. doi: /10.1155/2014/198609

7. Qu TT, Deng JX, Li RL, Cui ZJ, Wang XQ, Wang L, Deng JB. Stress injuries and autophagy in mouse hippocampus after chronic cold exposure. *Neural Regen Res*. 2017. Vol. 12(3):440-446. doi: 10.4103/1673-5374.202932.

8. Колосова О.Н. Стабилизация гомеостаза тела крыс при воздействии холода с помощью этанола. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2015. Т.160, № 9. С. 279-283

9. Маслов Л.Н., Цыбульников С.Ю., Нарыжная Н.В., Иванов В.В., Цыбульникова М.Р. Хроническое влияние холода - адаптация без стресса. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2016. Т.60.

№1.С. 28-31. doi:10.25557/0031-2991.2016.01.28-31

10. Золотарёва Т. А., Насибуллин Б. А., Ярошенко Н. А., Змиевский А. В. Современные представления о механизмах стресс обусловленных изменениях активности сперматогенеза. *Мир медицины и биологии*. 2011. № 4(7). С. 134–136.

11. Култанов Б. Ж. Нарушение сперматогенеза при воздействии некоторых физических и химических факторов и его коррекция: автореф. докт. биол. наук. Алматы, 2006. 38 с.

12. Завгородній І.В., М'ясоєдов В.В., Векшин В.О., Бачинський Р.О., Тесленко О.С., Перцев Д.П., Нікуліна Г.Л. Затравочна камера. Патент на корисну модель UA 83559 U, МПК (2013.01), B01L 1/00, B01L 5/00, Заявл. 07.05.2013, Опубл 10.09.2013, Бюл.№ 17.

13. Perova I., Bodyanskiy Yev. Adaptive human machine interaction approach for feature selection-extraction task in medical data mining. *International Journal of Computing*, 17 (2), 2018, 113-119.

References:

1. Belyaev I., Dean A., Eger H., Hubmann G., Jandrisovits R., Kern M., et al. (2016) "EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses". *Rev Environ Health*. 2016. 1.31(3).363-97. doi:10.1515/reveh-2016-0011

2. Nazarenko V.I. (2009) "To the problem of modulating influence of some physical factors on biological effect of EMF 50 Hz". *Environment and Health*. 4.38-43.
3. Manzetti S., Johansson O. (2012) "Global electromagnetic toxicity and frequency-induced diseases: theory and short overview". *Pathophysiology*. V.19.Iss.3.185–191.
4. Gubernsky Yu.D., Goshin M.E., Kalinina N.V., Banin I.M. (2016) "Hygienic aspects of electromagnetic pollution of modern dwelling". *Hygiene and sanitation*. No. 4. [URL:https://cyberleninka.ru/article/n/gigienicheskie-aspekty-elektromagnitnogo-zagryazneniya-sovremennogo-zhilisha](https://cyberleninka.ru/article/n/gigienicheskie-aspekty-elektromagnitnogo-zagryazneniya-sovremennogo-zhilisha)
5. Phillips J.L., Singh N.P., Lai H. (2009) "Electromagnetic fields and DNA damage". *Pathophysiology*. Vol. 16, no. 2-3. 79-88. doi: 10.1016/j.pathophys.2008.11.005.
6. Singh S., Kapoor N. (2014) "Health Implications of Electromagnetic Fields, Mechanisms of Action, and Research Needs". *Advances in Biology*. 2014. 24.Article ID 198609. doi: /10.1155 /2014/198609
7. Qu T.T., Deng J.X., Li R.L., Cui Z.J., Wang X.Q., Wang L., Deng J.B. (2017) "Stress injuries and autophagy in mouse hippocampus after chronic cold exposure". *Neural Regen Res*. Vol.12(3):440-446. doi: 10.4103/1673-5374.202932.
8. Kolosova O.N. (2015) "Stabilization of homeostasis of rat body in cold influence with help of ethanol". *Bulletin of experimental biology and medicine*. 160.(9).279-283
9. Maslov L.N., Tsybulnikov S.Yu., Naryzhnaya N.V., Ivanov V.V., Tsybulnikova M.R. (2016) "Chronic influence of cold – adaptation without stress". *Pathological Physiology and Experimental Therapy*. 60(1):28-31. doi:10.25557/0031-2991.2016.01.28-31
10. Zolotaryova, T. A., Nasibullin, B. A., Yaroshenko, N. A., Zmievisky, A. V. (2011) "Current ideas on the mechanisms of stress due to changes in spermatogenesis activity". *The world of medicine and biology*. 4 (7).134–136.
11. Kultanov B. Zh. (2006) "Disruption of spermatogenesis when exposed to certain physical and chemical factors and its correction": Author. Dr. biol. sciences. Almaty, 38 p.
12. Patentonuseful model (2013) "Exposure Chamber" No. 83559 (Zavgorodnii I.V., Myasoyedov V.V., Vekshin V.O., Bachinsky R.O., Teslenko O.S., Pertsev D.P., Nikulin G.L. applicant and patent-owner Kharkiv National Medical University No. u201305791 dated 07.05.2013
13. Perova I., Bodyanskiy Yev.(2018) "Adaptive human machine interaction approach for feature selection-extraction task in medical data mining". *International Journal of Computing*. 17 (2), 2018, 113-119.

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ПОЗИТИВНЫХ НИЗКИХ
ТЕМПЕРАТУР НА РЕПРОДУКТИВНУЮ ФУНКЦИЮ**

Литовченко Е.Л.¹, Перова И.Г.²

¹Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьковский национальный университет, ²Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
г. Харьков, Украина

В статье приведен метод определения интенсивности сочетанного воздействия электромагнитного излучения и позитивных низких температур на репродуктивную функцию, разработанный на основе методов вычислительного интеллекта. Указанный подход позволил определить наиболее информативные показатели развития биологических эффектов со стороны репродуктивной функции (концентрация сперматозоидов, количество подвижных сперматозоидов, количество неподвижных сперматозоидов), а также установить долю вклада каждого из факторов в развитие патологического процесса (электромагнитное излучение 54%, положительные низкие температуры 46%). Результаты разработки данного метода позволяют обосновать меры профилактики неблагоприятного воздействия комплекса факторов на организм.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, положительные низкие температуры, сочетанное действие, репродуктивная система, вычислительный интеллект

**METHOD OF DETERMINING THE IMPACT OF ELECTROMAGNETIC RADIATION
AND POSITIVE LOW TEMPERATURE ON REPRODUCTIVE FUNCTION**

Litovchenko O.L.¹, Perova I.G.²

¹V.N. Karazin Kharkov National University, Kharkiv National Medical University, ²Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

The article describes a method of determining the intensity of the combined effect of electromagnetic radiation and positive low temperature on the reproductive function developed on the basis of computational intelligence. Such an approach allowed to determine the most informative indices of biological effects on reproductive function (spermatozoa concentration, the number of mobile spermatozoa, the number of immobile spermatozoa), and to determine the contribution of effect of each factor to the development of the pathological process (electromagnetic radiation 54%, positive low temperature 46%). The results of development of the

given method allow to substantiate measures applied to prevent the unfavorable impact of complex of factors on the body.

Key words: *electromagnetic radiation, positive low temperature, combined action, reproductive system, computational intelligence*

ORCID ID співавторів:

Літовченко Олена Леонідівна, ORCID ID 0000-0002-5286-1705;

Перова Ірина Геннадіївна, ORCID ID 0000-0003-2089-5609.