

Віктор МАРТИНЮК, д-р біол. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0002-5311-3565

e-mail: vittorio.martini.office@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Марія МЕЛЬНИК, канд. біол. наук

ORCID ID: 0000-0003-3965-0388

e-mail: gribovamari@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця, Київ, Україна

Юлія ЦЕЙСЛЕР, канд. біол. наук, доц.

ORCID ID: 0000-0001-7689-9620

e-mail: yuliya.tseysler@gmail.com

Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця, Київ, Україна

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ЧАСТОТОЮ 8 ТА 50 Гц НА СКОРОЧЕННЯ ГЛАДЕНЬКОМ'ЯЗОВИХ СМУЖОК ШЛУНКА ЩУРІВ

Вступ. Можливість впливу слабких електромагнітних полів наднизьких частот (ЕМП ННЧ) на живі об'єкти довгий час викликала сумніви та суперечки у дослідників. Але на сьогодні біологічні ефекти електромагнітних полів доведено експериментально на різних рівнях організації: на молекулярному, клітинному, органному і системному.

Методи. У дослідженні використано модель викликаних скорочень гладеньких м'язів шляхом активації кальцієвих каналів мембрани клітин гладеньких м'язів додаванням до розчину Кребса гіперкалієвого розчину (KCl в кінцевій концентрації 80 мМ). Статистичну обробку результатів здійснювали загальноприйнятими методами варіаційної статистики.

Результати. Досліджено вплив ЕМП ННЧ частотою 8 та 50 Гц індукцією 25 мкТл на скорочення гладеньких м'язів шлунка щурів. Показано, що ЕМП ННЧ змінюють силу та характер викликаного K^+ -деполяризацією скорочення гладеньких м'язів шлунка щурів частотнозалежним та часозалежним чином.

Висновки. Важливо, що після припинення впливу ЕМП ННЧ сила та характер скорочення відновлюється до початкового значення. Це свідчить про те, що ефекти ЕМП ННЧ на скорочення гладеньких м'язів мають зворотний характер і не викликають тривалих релаксацийних процесів чи незворотних пошкоджень.

Ключові слова: гладенькі м'язи, ізометричне скорочення, вплив електромагнітних полів наднизьких частот.

Вступ

Можливість впливу слабких електромагнітних полів наднизьких частот (ЕМП ННЧ) на живі об'єкти довгий час викликала у дослідників сумніви та суперечки. Але сьогодні біологічні ефекти електромагнітних полів доведено експериментально на різних рівнях організації: на молекулярному, клітинному, органному і системному (Martynyuk et al., 2012). Водночас, незважаючи на емпіричні докази, єдиної загальноприйнятої теорії, яка б пояснювала первинні

© Мартинюк Віктор, Мельник Марія, Цейслер Юлія, 2024

механізми дії ЕМП на біологічні об'єкти поки що немає. На сьогодні дослідники дотримуються ідеї щодо визначальної ролі іонів кальцію та інших іонів у розвитку біологічних ефектів ЕМП ННЧ. Існують переконливі докази впливу слабких ЕМП ННЧ на кальцієвий гомеостаз у клітинах різних типів (Martyniuk et al., 2012). Але незважаючи на великий масив даних, вплив ЕМП ННЧ на гладенькі м'язи, скорочення яких контролюється іонами K^+ і Ca^{2+} (Ratz et al., 2005), залишається мало вивченим. Тому метою роботи стало дослідження впливу ЕМП частотою 8 і 50 Гц та індукцією 25 мкТл на викликані K^+ -деполяризацією скорочення гладеньких м'язів шлунка щурів. Обрання цих частот обумовлено їхньою біоефективністю (Martyniuk et al., 2012; Pophof et al., 2023).

Методи

У наших дослідженнях використано модель викликаних скорочень гладеньких м'язів шляхом активації кальцієвих каналів мембрани клітин гладеньких м'язів додаванням до розчину Кребса гіперкальцієвого розчину (KCl у кінцевій концентрації 80 мМ). Додавання гіперкальцієвого розчину приводить до скорочення гладеньком'язових клітин завдяки деполяризації плазматичної мембрани і, як наслідок, потужного входу кальцію через активовані потенціалкеро-вані кальцієві канали. Препарати гладеньких м'язів готували зі шлунка білих безпородних щурів. Гладеньком'язову тканину корпусу шлунка промивали та відчищали від сполучної тканини в нормальному розчині Кребса. Свіжо вилучену гладеньком'язову тканину нарізали на смужки 1,5 мм шириною та 10 мм довжиною. Смужки вирізали в напрямку розташування повздовжнього шару гладеньких м'язів. За допомогою утримувальних гачків смужки закріплювали в експериментальній камері об'ємом 2 мл з проточним нормальним розчином Кребса (швидкість протікання 4 мл/хв), у якій за допомогою термостата підтримували постійну температуру 37 °С. Реєстрацію скорочень смужок гладеньких м'язів здійснювали в ізометричному режимі за допомогою тензометричної системи зі світлодіодним датчиком реєстрації механічного напруження, яку створили інженери ННЦ "Інститут біології та медицини" Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Імпульсне електромагнітне поле частою 8 і 50 Гц генерували за допомогою котушки Гельмгольца. Сигнали генерувалися серійним генератором сигналів спеціальної форми Г6-28. Імпульси ЕМП ННЧ були прямокутної форми зі змінною полярністю за один період коливань. Індукцію ЕМП ННЧ контролювали мікротесламетром Г-79 і магнітометром, у якому сенсором магнітного поля був датчик Холла. Величина індукції ЕМП становила 25 мкТл. Електромагнітний фон у діапазоні 5 Гц – 20 кГц у лабораторії під час проведення експериментів не перевищував рівня 80 нТл, що на декілька порядків менше інтенсивності ЕМП, яка була досліджена в експерименті. Статистичну обробку результатів здійснювали загальноприйнятими методами варіаційної статистики.

Результати

Відомо, що фазове скорочення зумовлене транзйєнтним вивільненням кальцію з саркоплазматичного ретикулуму (Ratz et al., 2005), тоді як тонічне – входом кальцію через потенціалкеро-вані кальцієві канали. Паттерни скорочення в нашому експерименті за часовою динамікою були типовими для

викликаних K^+ -деполяризацією скорочень гладеньких м'язів шлунка. Викликані скорочення гладеньких м'язів шлунка складаються із двох компонентів: фазового скорочення (короткочасного і сильнішого, що має характер "спайку") та тонічного скорочення (помірного плато).

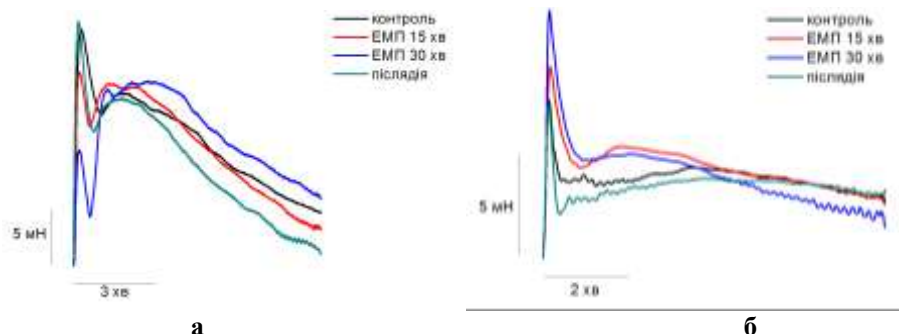


Рис. 1. Типові паттерни викликаного K^+ -деполяризацією ізометричного скорочення гладеньком'язових смужок шлунка щурів за відсутності дії поля (контроль), після 15 хв і після 30 хв впливу ЕМП 8 Гц (а) та 50 Гц (б) і після вимкнення поля (післядія)

ЕМП частотою 8 Гц (рис. 1, а) пригнічувало фазове скорочення. Це пригнічення мало часозалежний характер. Після 15-хвилинного впливу ЕМП частотою 8 Гц амплітуда скорочення зменшувалась на 13 % відносно контролю ($P < 0,05$, $n = 12$), а після 30-хвилинного – на 39 % ($P < 0,05$, $n = 12$) (рис. 2, а). ЕМП частотою 50 Гц навпаки, збільшувало амплітуду фазного скорочення із часозалежним характером. Після 15 хв дії ЕМП амплітуда скорочення збільшувалась на 11 % відносно контролю ($P < 0,05$, $n = 12$), тоді як після 30-хвилинної дії – на 32 % ($P < 0,05$, $n = 12$) порівняно з контролем (рис. 2, б).

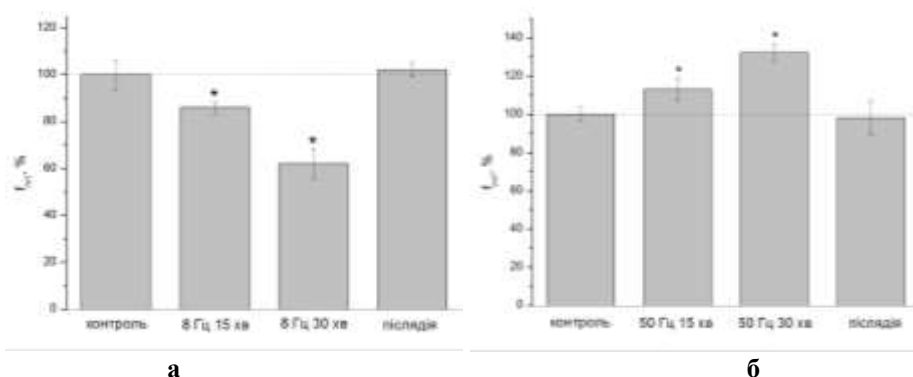


Рис. 2. Зміна максимальної амплітуди фазового скорочення, викликаного K^+ -деполяризацією, під впливом ЕМП частотою 8 Гц (а) і 50 Гц (б) упродовж 15 і 30 хв та після вимкнення поля (післядія) відносно контролю (* – $P < 0,05$ порівняно з контролем.

Дані представлені середнім значенням $\pm$ S.E.M.; $n = 12$)

Амплітуда тонічного скорочення принципово не змінювалась під впливом ЕМП. Через 15 хв вона збільшувалась на 4 %, а через 30 хв – на 5 % ($P < 0,05$, $n = 12$) (рис. 3, а, б).

Аналіз результатів показав, що під впливом ЕМП 8 Гц збільшувався час досягнення максимальної амплітуди тонічного скорочення (рис. 4, а). При чому, як і під час впливу поля на силу скорочення, ефект мав часозалежний характер: через 15 хв впливу час збільшувався на 12 % порівняно з контролем ($P < 0,05$, $n = 12$), тоді як через 30 хв – на 25 % ($P < 0,05$, $n = 12$).

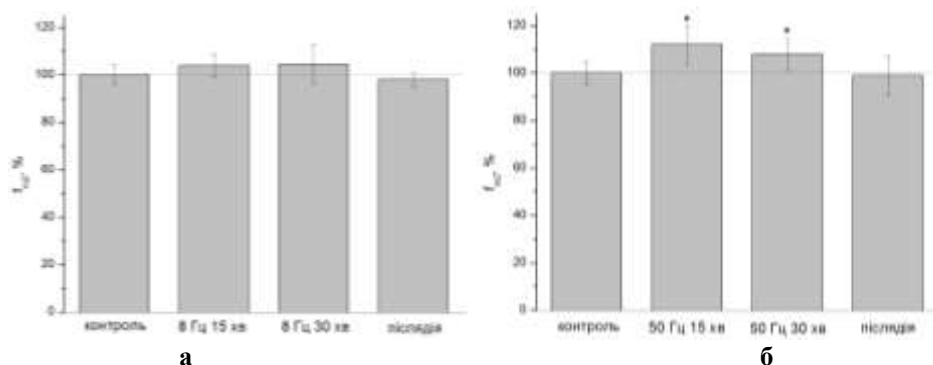


Рис. 3. Зміна максимальної амплітуди тонічного скорочення, викликаного K^+ -деполяризацією, під впливом ЕМП частотою 8 Гц (а) і 50 Гц (б) упродовж 15 і 30 хв, та після вимкнення поля (післядія) відносно контролю (* – $P < 0,05$ порівняно з контролем).

Дані представлені середнім значенням $\pm$ S.E.M.; $n = 12$)

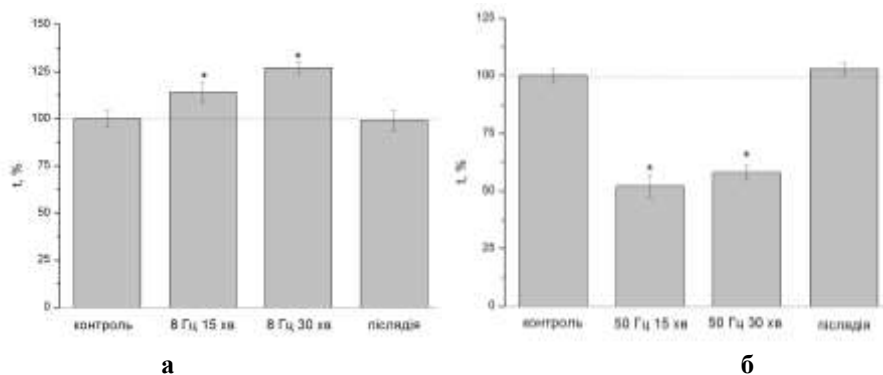


Рис. 4. Зміна часу досягнення максимальної амплітуди тонічного скорочення, викликаного K^+ -деполяризацією, під впливом ЕМП частотою 8 Гц (а) і 50 Гц (б) упродовж 15 і 30 хв та після вимкнення поля (післядія) відносно контролю (* – $P < 0,05$ порівняно з контролем).

Дані представлені середнім значенням $\pm$ S.E.M.; $n = 12$)

Після припинення дії електромагнітного поля кінетика скорочення повністю відновлювалась до початкового значення ($P < 0,05$, $n = 12$) (рис. 4, а).

За умов впливу ЕМП частотою 50 Гц змінювався час досягнення максимальної амплітуди тонічного скорочення (рис. 4 б). Але, на відміну від ефекту ЕМП частотою 8 Гц, час, навпаки, зменшувався, при чому, аж на 49 % через 15 хв впливу, і на 42 % – через 30 хв ($P < 0,05$, $n = 12$) (рис. 4, б). Після припинення дії електромагнітного поля, характер скорочення майже відновлювався до значення контролю ($P < 0,05$, $n = 12$) (рис. 4, б).

Дискусія і висновки

ЕМП ННЧ змінюють силу та характер викликаного K^+ -деполяризацією скорочення гладеньких м'язів шлунка щурів частотозалежним (8 Гц мало пригнічуючий характер, тоді як 50 Гц – активуючий) та часозалежним (із часом ефект збільшувався) чином. Важливо, що після припинення впливу ЕМП ННЧ сила та характер скорочення відновлюються до початкового значення. Це свідчить про те, що ефекти ЕМП ННЧ на скорочення гладеньких м'язів мають зворотний характер і не викликають тривалих релаксаційних процесів чи незворотних пошкоджень.

Внесок авторів: Віктор Мартинюк – концептуалізація, методологія, аналіз і обговорення даних; Марія Мельник – експериментальні дослідження, обробка, аналіз та обговорення даних, написання тексту; Юлія Цейслер – огляд сучасних літературних даних, обговорення даних, адаптація тексту і рисунків.

Подяки, джерела фінансування. Автори висловлюють подяку д-ру біол. наук Ользі Цимбалюк за технічну консультаційну допомогу в проведенні досліджень.

Список використаних джерел

Martynyuk, V.S., Tseyslyer, Yu. V., & Temuryants N.A. (2012). Interference of the Mechanisms of Influence That Weak Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields Have on the Human Body and Animals *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 48(8), 832–846. <https://doi.org/10.1134/S0001433812080087>

Pophof, B., Henschenmacher, B., Kattnig, D.R., Kuhne, J., Vian, A., & Ziegelberger, G. (2023). Biological Effects of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields from 0 to 100 MHz on Fauna and Flora: Workshop Report. *Health Physics*, 124(1), 39–52. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001624>

Ratz, P.H., Berg, K.M., Urban, N.H., & Miner, A.S. (2005). Regulation of smooth muscle calcium sensitivity: KCl as a calcium-sensitizing stimulus. *Am. J. Physiol. Cell. Physiol.*, 288, C769–C783. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00529.2004>

References

Martynyuk, V.S., Tseyslyer, Yu. V., & Temuryants N.A. (2012). Interference of the Mechanisms of Influence That Weak Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields Have on the Human Body and Animals *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 48(8), 832–846. <https://doi.org/10.1134/S0001433812080087>

Pophof, B., Henschenmacher, B., Kattnig, D.R., Kuhne, J., Vian, A., & Ziegelberger, G. (2023). Biological Effects of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields from 0 to 100 MHz on Fauna and Flora: Workshop Report. *Health Physics*, 124(1), 39–52. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001624>

Ratz, P.H., Berg, K.M., Urban, N.H., & Miner, A.S. (2005). Regulation of smooth muscle calcium sensitivity: KCl as a calcium-sensitizing stimulus. *Am. J. Physiol. Cell. Physiol.*, 288, C769–C783. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00529.2004>

Отримано редакцією збірника / Received: 17.06.24

Прорецензовано / Revised: 03.07.24

Схвалено до друку / Accepted: 30.09.24

Viktor MARTYNIUK, д-р біол. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0002-5311-3565

e-mail: vittorio.martini.office@gmail.com

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Maria MELNYK, канд. біол. наук

ORCID ID: 0000-0003-3965-0388

e-mail: gribovamari@gmail.com

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine,

Bogomoletz Institute of Physiology, Kyiv, Ukraine

Yuliya TSEYSLER, канд. біол. наук, доц.

ORCID ID: 0000-0001-7689-9620

e-mail: yuliya.tseysler@gmail.com

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

EFFECT OF ELECTROMAGNETIC FIELD WITH FREQUENCY 8 AND 50 Hz ON THE CONTRACTION OF SMOOTH MUSCLE STRIPS OF THE STOMACH OF RATS

Introduction. *The possibility of the influence of weak electromagnetic fields of ultra-low frequencies (EMFs of ultra-low frequencies) on living objects has long caused doubts and disputes among researchers. However, today the biological effects of electromagnetic fields have been experimentally proven at different levels of organization: at the molecular, cellular, organ and systemic levels.*

Methods. *Our studies used a model of evoked smooth muscle contractions by activating calcium channels in the smooth muscle cell membrane by adding hyperpotassium solution (KCl at a final concentration of 80 mM) to Krebs solution. Statistical processing of the results was carried out using generally accepted methods of variational statistics.*

Results. *The effect of low-frequency EMF with a frequency of 8 and 50 Hz induced by 25 μ T on the contraction of the smooth muscles of the stomach of rats was investigated. It has been shown that EMFs of LNFs change the strength and nature of K⁺-depolarization-induced contraction of gastric smooth muscles of rats in a frequency-dependent and time-dependent manner.*

Conclusions. *Importantly, after cessation of exposure to LNF EMF, the force and nature of contraction return to their original values. This indicates that the effects of LNF EMF on smooth muscle contraction are reversible and do not cause prolonged relaxation processes or irreversible damage.*

Keywords: *smooth muscles, isometric contraction, influence of ultra-low frequency electromagnetic fields.*

Автори М. Мельник та Ю. Цейслер заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Член редакційної колегії В. Мартинюк заявляє про відсутність конфлікту інтересів та невтручання в процес оцінювання цієї статті відповідно до міжнародних стандартів публікаційної етики. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors M. Melnyk Y. Tseysler declare no conflicts of interest. The member of the Editorial board V. Martyniuk declares no conflict of interest and has not interfered in the evaluation process of this article, in accordance with international publication ethics standards. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.