

УДК 613.647+612.1:001.5

## ДО ПИТАННЯ МЕХАНІЗМІВ БІОЛОГІЧНОЇ РЕЦЕПЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ 50 Гц

Назаренко В.І.

ДУ «Інститут медицини праці АМН України», м. Київ

Проведено дослідження впливу хронічної експозиції магнітного поля (МП) 50 Гц з рівнями 7, 250 і 7000 мкТл на вільно-радикальні процеси (ВРП) і показники ЕКГ у білих шурів. Одержані в експерименті ефекти можливо пояснити наступними механізмами біологічної рецепції МП 50 Гц, що обговорюються в літературі: параметричний резонанс іону  $\text{Ca}^{2+}$  (рівні 7–7000 мкТл), вплив на вільно-радикальні процеси (рівні 250–7000 мкТл), виникнення наведених в біосередовищах електричних струмів (7000 мкТл).

**Ключові слова:** магнітне поле 50 Гц, хронічна експозиція, біологічна рецепція

### Вступ

Дослідження механізмів впливу магнітного поля (МП) промислової частоти 50/60 Гц на живий організм є досить актуальним питанням сучасної гігієни праці [1, 2]. На відміну від таких факторів виробничого середовища як шум [3], мікроклімат [4], що діють через відповідні аналізатори, в організмі людини не існує специфічної системи біологічної рецепції електромагнітного поля 50/60 Гц, за можливим виключенням ферритин-подібних структур, які вміщують іони заліза (61–88 %) в клітинах мозку і печінки, що потребує подальшого дослідження [5].

Визнається, що фізичні механізми впливу слабких (< 50 мкТл) МП промислової частоти 50/60 Гц відрізняються від дії сильних (> 500 мкТл) МП [2] тому, що індуквані струми, які викликаються слабкими МП, набагато менші ніж ендогенні [6]. В науковій літературі приділяється увага таким механізмам взаємодії МП 50/60 Гц з живим організмом: ефект параметричного резонансу іона  $\text{Ca}^{2+}$  (пороги дії 4–50 мкТл) [7], вплив на вільно-радикальні (ВРП) процеси (пороги дії 0,8–5 мкТл) [8], наведені в тканинах електричні струми (пороги дії > 500 мкТл) [2]. Висловлюються припущення, що викликані внаслідок дії МП 50 Гц розриви ланцюжків ДНК пов'язані з активізацією ВРП з залученням іонів заліза, ймовірно, через реакцію Фентона, за якою  $\text{H}_2\text{O}_2$  перетворюється в підкисленому середовищі в більш потенційно токсичний гідроксильний радикал [9]. Показано, що МП 50 Гц можуть змінювати показники серцевого ритму людини [10, 11], що, в свою чергу, можливо пов'язати із впливом на трансмембранний перехід іона  $\text{Ca}^{2+}$  через кальцієві канали L-типу (переважно, в кардіоміоцитах) та канали T-типу (клітини синусного вузла та нейрогуморальні) [12, 13].

*Мета роботи* – дослідження порогів дії МП 50 Гц за показниками ВРП та ЕКГ, з аналізом можливих механізмів його взаємодії зі структурами організму.

### Матеріали та методи дослідження

Вивчення особливостей впливу МП 50 Гц на організм білих шурів проведено в хронічному експерименті (8 місяців експозиції + 1 місяць відновлювального періоду). Тривалість добової експозиції складала 2 години, частота – 5 днів на тиждень. Рівні магнітної індукції дорівнювали 7, 250 та 7000 мкТл. Для оцінки ефектів впливу вивчали показники ЕКГ (амплітуда зубців R, T, інтервали PQ, QRS, R-R) по II відведенню [14]. Стан системи перекісного окислення ліпідів (ПОЛ) оцінювали за вмістом (мкМ/мл) в сироватці крові малонового діальдегіду (МДА) [15]; стан системи антиоксидантного захисту (АОЗ) визначали за активністю ферментів супероксиддисмутази (СОД) (ОА/міномг), каталази (КТ) (мкМ/міномг) і концентрацією церулоплазміну (ЦП) (мг/л) [16–18]. За співвідношенням процесів ПОЛ і АОЗ розраховували фактор антиоксидантного стану (ФАОС) [18]. Достовірність результатів і їх групову різницю проаналізовано за t-критерієм Ст'юдента.

### Результати дослідження та їх обговорення

В результаті дослідження показників АОЗ/ПОЛ у білих шурів, після 1 місяця експозиції МП 50 Гц спостерігали достовірне ( $p < 0,05$ ) збільшення активності ферменту каталази на 29–43 %, що має залежність від рівня магнітної індукції (табл. 1). При дії рівнів 250 і 7000 мкТл відбувалося помітне збільшення (на 36–43 %) вмісту МДА на фоні аналогічного зростання (на 3–43 %) активності КТ. Дія найменшого рівня 7 мкТл не призводила до

зростання концентрації МДА в крові щурів протягом всього експерименту. При тривалості експозиції 8 місяців спостерігали зменшення кількості показників ПОЛ/АОЗ з достовірними змінами. При цьому, дія рівня магнітної індукції 7 мкТл призводила до зменшення (на 36 %) концентрації ЦП; при дії рівнів МП 250 і 7000 мкТл не спостерігали підвищення вмісту МДА на фоні підвищеної на 22–36 % активності КТ, у порівнянні з контрольною групою ( $p < 0,05$ ), що свідчило про переважання активності системи АОЗ (ФАОС значно більше ніж в контрольній групі).

В період відновлення 1 місяць, в групах тварин з рівнями експозиції 250 та 7000 мкТл спостерігали тенденцію до підвищення концентрації МДА в крові щурів на 11 % ( $p < 0,1$ ) на фоні відсутності активізації ферментів системи АОЗ ( $P > 0,1$ ), що свідчить, на нашу думку, про певний «слід» попередньої експозиції. Одержані результати збігаються з даними літератури щодо активізації системи АОЗ, в першу чергу, за рахунок посиленого утворення активних форм кисню при дії МП 50 Гц [19].

В табл. 1 також приведено достовірні зміни ( $p < 0,5$ ) показників ЕКГ і тенденції ( $p < 0,1$ ) до та-

ких змін в групах піддослідних щурів при експозиції та після 1 місяця відновного періоду, у порівнянні з контрольною групою. При цьому, найбільш помітним ефектом, в більшості випадків, було збільшення R-R інтервалу від 7,8 до 24 %, особливо, при дії рівнів 7 мкТл та 7000 мкТл протягом 8 місяців. Після 1 місяця експозиції з рівнем 250 мкТл, зміни в ЕКГ мали характер лише тенденції ( $p < 0,1$ ). Одержані результати підтверджують дані літератури щодо ефекту уповільнення серцевого ритму при хронічній дії МП 50 Гц [10, 11].

Серед інших ефектів, особливо, після 8 місяців експозиції, досить помітним є збільшення тривалості електричної систоли міокарда (інтервал QRS) від 3,7 до 10,9 %, що свідчить про погіршення умов проведення електричного збудження в шлуночках [20]. При цьому, при експозиції 1 місяць помітна пряма залежність збільшення часу електричної систоли міокарда від рівня МП 50 Гц; подібна тенденція зберігається, також, і для 8 місяців експозиції. При дії рівня 7000 мкТл спостерігається значне зменшення амплітуди зубця R (на 47 %), при експозиції рівнем 7 мкТл цей ефект є меншим (на 25 %).

Таблиця 1

## Зміни показників ЕКГ та ПОЛ/АОЗ у білих щурів в хронічному експерименті

Показники ПОЛ/АОЗ	Рівень МП50 Гц, мкТл	Тривалість експозиції			Показники ЕКГ	Рівень МП50 Гц, мкТл	Тривалість експозиції		
		1 місяць	8 місяців	1 місяць після експозиції			1 місяць	8 місяців	1 місяць після експозиції
МДА	0 (контрольна група)	4,65±0,28	7,66±0,22	8,53±0,15	R-R, мс	0 (контрольна група)	133,4±4,7	132,2±3,6	135,8±5,5
СОД		4,27±0,32	4,19±0,47	3,52±0,21	P-Q, мс		42,8±1,5	43,3±0,8	42,4±1,7
КАТ		43,3±2,3	37,0±2,0	42,2±2,2	QRS, мс		32,5±0,45	32,4±0,5	33,5±0,35
ЦП		193±14	196±15	241±18	R, мкВ		255±31	270±28	265±34
ФАОС		7,61	3,97	4,19	T, мкВ		133±11,5	136±13	128±10,2
МДА	7	5,01±0,48	7,81±0,21	8,26±0,16	R-R, мс	7	139,1±2,0	↑153,3±8,9*	135,4±3,5
СОД		4,94±0,43	2,75±0,63	3,46±0,31	P-Q, мс		41,7±1,8	42,8±1,1	42,8±1,0
КАТ		↑55,7±1,8*	37,3±1,8	45,3±3,2	QRS, мс		↑34,1±0,67	↑34,0±0,65	34,0±0,34
ЦП		192±11	↓126±15*	276±24	R, мкВ		250±32,6	↓202±21	268±23
ФАОС		12,4	1,65	5,24	T, мкВ		114±6,8	160±23	118±7,6
МДА	250	↑6,64±0,78*	8,22±29	↑9,45±0,45	R-R, мс	250	↑145,6±3,2	144,2±10,7	135±3,5
СОД		4,48±0,37	5,33±0,59	3,47±0,37	P-Q, мс		44,2±1,8	↓39,2±1,7	43,8±0,6
КАТ		↑56,5±3,0*	↑50,3±2,1*	45,7±2,7	QRS, мс		↑34,8±0,61*	↑34,1±0,82	34,2±0,6
ЦП		192±11	213±18	224±27	R, мкВ		334±36	268±32,4	278±34
ФАОС		7,32	6,95	3,76	T, мкВ		106±8,8	128±25,2	126±13,2
МДА	7000	↑6,34±0,62	8,27±0,31	↑9,43±0,47	R-R, мс	7000	141±3,4	↑160,4±8,5*	142,1±4,5
СОД		5,10±0,43	4,59±0,29	3,54±0,29	P-Q, мс		43,6±1,2	41,9±2,1	44,4±0,9
КАТ		↑62,0±5,3	↑45,1±1,6*	45,9±2,2	QRS, мс		↑35,4±0,65*	↑34,7±0,79*	34,1±0,52
ЦП		224±15	216±19	265±21	R, мкВ		296±43	↓142±17,4*	266±30
ФАОС		7,32	5,41	5,57	T, мкВ		112±17,6	122±11	123±12

Примітки: \* – зміни достовірні ( $p < 0,05$ ); ↑ – збільшення значення показника, ↓ – зменшення значення показника.

Таблиця 2

Співвідношення ефектів, що спостерігалися в хронічному експерименті, і даних літератури

Пороги дії МП 50 Гц за даними літератури	ЕФЕКТ, що є теоретично можливим	Рівень МП 50 Гц в експерименті	ЕФЕКТ, що спостерігається в експерименті
> 500 мкТл	Вплив на Ca <sup>2+</sup> канали в клітинах синусного вузла і кардіоміоцитах. Вплив на вільнорадикальні процеси. Наведені струми в біосередовищах	7000 мкТл	Уповільнення ЧСС. Збільшення активності КТ. Збільшення часу проведення біоелектричної хвилі в міокарді, зменшення R-зубця
0,8 – 5 і більше мкТл	Вплив на вільно-радикальні процеси	250 мкТл	Уповільнення ЧСС. Збільшення активності КТ
4 -50 мкТл	Іонний циклотронний ефект, вплив на T-Ca <sup>2+</sup> канали в клітинах синусного вузла	7 мкТл	Уповільнення ЧСС

Для змін інших показників ЕКГ не було помітно їхньої зв'язки з рівнем МП 50 Гц. Після відновлення 1 місяць, в усіх серіях досліджень не було помітних ( $p < 0,1$ ) відхилень від аналогічних показників контрольної групи, що свідчило про зворотній характер змін, що спостерігалися.

З погляду на дані літератури щодо можливих механізмів взаємодії МП 50 Гц з живим організмом: параметричного резонансу іона Ca<sup>2+</sup> (пороги дії 4–50 мкТл) [7], впливу на вільно-радикальні процеси (пороги дії 0,8–5 мкТл) [8], наведених струмів (пороги дії > 500 мкТл) [2,6], можна, з певною мірою обережності, пояснити одержані в лабораторному експерименті ефекти, що обговорено вище (табл. 2).

Як видно з одержаних даних, за умов достатньо тривалої дії рівень 7 мкТл викликає помітний ефект брадикардії ( $p < 0,05$ ), що може бути пов'язано з іонним циклотронним ефектом впливу на переміщення Ca<sup>2+</sup> через відповідні канали в клітинах-пейсмейкерах серцевого ритму в синусному вузлі.

При експозиції МП з рівнем 250 мкТл з'являється ефект збільшення активності ферменту КТ, що можливо пов'язати з посиленням вільно-радикаль-

них процесів, в тому числі інактивацію активних форм кисню, посилене утворення яких супроводжує дію МП 50 Гц [8, 9].

При експозиції з рівнем 7000 мкТл на фоні двох попередніх ефектів – брадикардії і активізації КТ – з'являється ефект збільшення тривалості електричної систоли міокарда, що можливо пов'язати зі впливом наведених струмів на серцевий м'яз [1, 2, 6].

## Висновки

1. Для хронічної дії МП 50 Гц з рівнями магнітної індукції 7,250,7000 мкТл на організм білих щурів є характерним зростання (на 31–43 %) активності каталази, а також збільшення тривалості R-R інтервалу (на 7,8–24 %) і інтервалу QRS (на 3,7–10,9 %).
2. З погляду на дані літератури, біологічні ефекти МП 50 Гц можливо пояснити наступними механізмами: параметричним резонансом іона Ca<sup>2+</sup> (рівні 7–7000 мкТл), впливом на вільно-радикальні процеси (рівні 250–7000 мкТл), дією наведених струмів (7000 мкТл).

ры: эколого-гигиеническая оценка (Руководство). Гл.10.– М.: Мед,1999.– С. 356–424.

5. Magnetic properties of human liver and brain ferritin / [Dubiel S.M., Zablotna-Rypien B., Mackey J.B., Williams J. M.] // European Bioph.J.– 1999.– V.28 (3).– P. 263–267.

6. Bailey W.H. Thresholds for 60 Hz magnetic field stimulation of peripheral nerves in human subjects / W.H. Bailey, J.A. Nyenhuis // Bioelectromagnetics.– 2005.– V. 26.– P.462–468.

7. Engström S. Magnetic resonances of ions in biological systems / S. Engström, J.D. Bowman // Bioelectromagnetics.– 2004.– V. 25.– P. 620–630.

8. The effect of weak 50 Hz magnetic fields on the number of free oxygen radicals in rat lymphocytes in

## Література

1. Proposals for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0–300 GHz): Consultation Document / National Radiological Protection Board.– Chilton, Didcot.– 2003.– 187 p.

2. Moulder J. Power Lines and Cancer FAQs (last update of «What's New»: 13-Aug-2006)/ On line: <http://www.mcw.edu/gcrc/cop/powerlines-cancer-faq/toc.html>

3. Шум / [Измеров Н.Ф., Суворов Г.А. и др.] // Физические факторы: эколого-гигиеническая оценка (Руководство). Гл.16.– М.: Мед,1999.– С.6–138.

4. Микроклимат / [Афанасьева Р.Ф., Бессонова Н.А., Бурмистрова О.В. и др.] // Физические факто-

vitro / [Zmyslony M., Rajkowska E., Mamrot P. et al.] // Bioelectromagnetics.– 2004.– V.25.– P. 607–612.

9. Oxidizing intermediates generated in the Fenton Reagent: Kinetic Arguments against the intermediacy of the hydroxyl radical / [Wink D.A., Wink C.B., Nims R., Ford P.C.] // Environ. Health Perspect.– 1994.– V. 102 (3).– P.11–17.

10. Русин М.Н. Воздействие электромагнитных полей 50 Гц на показатели вариативности сердечного ритма персонала энергообъектов / М.Н. Русин, Л.М. Фатхутдинова // Мед. труда и пром. экол.– 2001.– № 11.– С.5–9.

11. Tabor Z. Influence of 50 Hz magnetic field on human heart rate variability: Linear and nonlinear analysis / Z. Tabor, J. Michalski, E. Rokita // Bioelectromag.– 2004.– V. 25(6).– P. 474–480.

12. Белоусов Ю.Б. Антагонисты кальция пролонгированного действия и сердечно-сосудистая заболеваемость: Новые данные доказательной медицины / Ю.Б. Белоусов, М.В. Леонова // Кардиология.– 2001.– № 4.– С. 87–93.

13. Кулес В.Г. Антагонисты кальция: современные аспекты применения в кардиологии / В.Г. Кулес, О.Д. Остроумова, А.К. Стародубцев // Фармакотерапия.– 2006.– Т.8.– №11; <http://www.consilium-medicinum.com/media/consilium/index.shtml>.

14. Западнюк И.П. Лабораторные животные / [Западнюк И.П., Западнюк В.И., Захария Е.А., Западнюк Б.В.] .– К.: Вища школа.– 1983.– 262 с.

15. Андреева Л.И. Модификация метода определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой / Л.И. Андреева, Л.А. Кожемякин, А.А. Кишкун // Лабораторное дело.– 1988.– № 11.– С. 41–43.

16. McCord J.M., Fridovich I. Superoxide dismutase: an enzymic function for erythrocyte hemocuprein / McCord J.M., Fridovich I. // J. Biol. Chem.– 1989.– V.244, №22.– P. 6049–6055.

17. Aebi H. E. Enzymes 1: oxidoreductases, transferases // In: Bergmeyer H., Ed. Methods of enzymatic analysis.– 1980.– V. III.– P. 273–282.

18. Чевари С. Определение антиоксидантных параметров крови и их диагностическое значение (модификация метода Fraidl) / С. Чевари, Т. Андял, Я. Яштренгер // Лабораторное дело.– 1991.– №10.– С. 9–13.

19. In vitro effects of 50 Hz magnetic fields on oxidatively damaged rabbit red blood cells / [Fiorani M., Biagiarelli B., Vetrano F. Et al.] // Bioelectromag.– 1997.– V.18.– P.125–131.

20. Превентивная кардиология :пер.с чешк. / [Видимски И., Вишек В., Андел М. и др.]– К.: Здоров'я, 1986.– 392 с.

**Назаренко В.И.**

## **К ВОПРОСУ МЕХАНИЗМОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕЦЕПЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ 50 Гц**

ГУ «Институт медицины труда АМН Украины», г. Киев

Проведено исследование влияния хронической 8-месячной экспозиции МП 50 Гц с уровнями 7, 250 и 7000 мкТл на свободно-радикальные процессы и показатели ЭКГ у белых крыс. Наблюдаемые в эксперименте эффекты возможно пояснить следующими, описанными в литературе механизмами биологической рецепции МП 50 Гц: параметрический резонанс иона  $\text{Ca}^{2+}$  (уровни 7–7000 мкТл), влияние на свободно-радикальные процессы (уровни 250–7000 мкТл), возникновение наведенных в биосредах электрических токов (7000 мкТл).

**Ключевые слова:** магнитное поле 50 Гц, хроническая экспозиция, биологическая рецепция

**Nazarenko V.I.**

## **TO THE QUESTION OF BIOLOGICAL RECEPTION MECHANISMS OF MAGNETIC FIELD 50 Hz**

Institute for Occupational Health of AMS of Ukraine, Kyiv

It was studied the influence of a chronic 8 months exposure of MF 50 Hz with levels 7, 250 and 7000 mкT on free – radical processes and parameters of ECG on white rats. The observed effects could be explained by the following, described in the literature, mechanisms of biological reception for MF 50 Hz: parametric resonance of ion  $\text{Ca}^{2+}$  (7–7000 mкT), influence on free-radical processes (250–7000 mкT), occurrence of induced electric currents in biomedica (7000 mкT).

**Key words:** magnetic field 50 Hz, chronic exposure, biological reception

Надійшла: 26.05.2009

**Контактна особа:** Назаренко Василь Іванович, старший науковий співробітник, лабораторія фізичних факторів, ДУ «Інститут медицини праці АМН України, вул. Саксаганського, 75, м. Київ, 01033. Тел. (44) 289-15-12.