

**УДК 615.849.11:594.5:616.8-009.627**

## **ДИНАМИКА БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОЛЛЮСКОВ *HELIX ALBESCENS* ПРИ ДЕЙСТВИИ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ КРАЙНИХ ЧАСТОТНЫХ ДИАПАЗОНОВ**

**Костюк А.С., Туманянц К.Н.**

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина  
E-mail: timur@crimea.edu*

Изучены изменения параметров болевой чувствительности моллюсков *Helix albescens* при действии низкоинтенсивных ЭМИ крайних частотных диапазонов (ЭМИ КВЧ и ПеМП СНЧ). Показано, что электромагнитные факторы вызывают фазные изменения болевой чувствительности: увеличение чувствительности к боли (гипераналгезия) сменяется гипоаналгетическим эффектом. Наиболее стойкий гипоаналгетический эффект вызывает ПеМП СНЧ, который быстро развивается и отличается большой продолжительностью.

**Ключевые слова:** болевая чувствительность, переменное магнитное поле сверхнизкой частоты, электромагнитное излучение крайне высокой частоты, моллюски.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Одной из актуальных проблем современной экологической физиологии и биофизики является исследование чувствительности и устойчивости человека и животных к действию различных факторов, приспособленности в меняющихся условиях обитания, экстремальных ситуациях. В настоящее время довольно полно изучены механизмы реализации адаптационных реакций при действии разнообразных раздражителей. Все больше накапливается данных о том, что факторы различной природы, но малой интенсивности, также оказывают выраженное биологическое действие [1].

В настоящее время твердо установлено, что электромагнитное излучение (ЭМИ) крайних частотных диапазонов: ЭМИ крайне высокой частоты (КВЧ), а также слабые переменные магнитные поля (ПеМП) сверхнизкой частоты (СНЧ) обладают высокой физиологической активностью [2], повышают неспецифическую резистентность, изменяют временную организацию животных [3].

Из литературных источников известно, что ответную реакцию организмов на действие низкоинтенсивных электромагнитных полей (ЭМП) адекватно характеризует состояние болевой чувствительности. Однако особенности ее изменения при действии ЭМП различных параметров изучены недостаточно. Не выделенными остаются также общие закономерности и специфические особенности действия электромагнитных факторов. Для их изучения целесообразно использование простейших моделей, тест-систем и беспозвоночных. Наиболее

часто для исследования изменений болевой чувствительности под влиянием различных факторов используются моллюски. Поэтому целью эксперимента явилось исследование болевой чувствительности моллюсков *Helix albescens* при действии низкоинтенсивных ЭМП крайних частотных диапазонов.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Экспериментальные исследования выполнены на наземных брюхоногих моллюсках *Helix albescens*, широко распространенных на территории Крымского полуострова и применяемых в экспериментах для решения актуальных задач физиологии и биофизики. В эксперименте использовались половозрелые животные, одинаковые по массе и размерам.

Было проведено несколько серий экспериментов, в каждой серии моллюсков делили на пять равноценных групп по 20 особей в каждой.

Животные первой группы – биологический контроль – находились в стандартных лабораторных условиях (естественной освещенности, влажности и температуры воздуха ( $t=22\pm 2^\circ\text{C}$ )). Моллюски второй группы ежедневно в течение трех часов подвергались воздействию ПеМП СНЧ (8 Гц). Животные третьей группы каждый день в течение 30 минут подвергались действию ЭМИ КВЧ. В каждой серии экспериментальных исследований присутствовала четвертая и пятая группы моллюсков, которые подвергались «мнимому» воздействию ПеМП СНЧ и ЭМИ КВЧ соответственно («плацебо») той же продолжительности, однако генератор был отключен от сети питания.

В настоящем исследовании выбор параметров воздействующего ПеМП осуществлялся на основе оценки их физиологической и геофизической значимости. Как известно, выбранная частота 8 Гц является фундаментальной частотой ионосферного волновода [4], а, кроме того, близка к частоте некоторых биоритмов [5]. Эти моменты и обусловили выбор частотной характеристики воздействующего ПеМП. Величину магнитной индукции (50 нТ) выбирали с таким учетом, чтоб она была значительно выше напряженности естественного ПеМП на данной частоте. Это позволило уменьшить эффекты неконтролируемых электромагнитных воздействий. Одновременно учитывали, что для такой интенсивности поля физиологические эффекты надежно воспроизводятся [6]. В нашем исследовании применяли многократные ежедневные трехчасовые экспозиции ПеМП, именно такова средняя продолжительность геомагнитных возмущений на данной частоте [7].

Опытная установка состояла из катушек индуктивности диаметром 1 м и низкочастотного генератора ГРМ-3. Для контроля гармонического колебания использовался одноканальный лучевой осциллограф С1-114/1.

Источником ЭМИ КВЧ служил генератор «Явь-1» (длина волны 7,1 мм; плотность потока мощности  $10 \text{ мВт/см}^2$ ). Во время воздействия ЭМИ КВЧ моллюски находились в затемненных условиях в стеклянных аквариумах, к низу которых подводился рупор генератора, при этом животные находились в зоне рупора.

Все исследования проведены с соблюдением принципов двойного слепого эксперимента.

О состоянии болевой чувствительности животных судили по болевому порогу (БП) и латентному периоду (ЛП) в тесте «горячая пластинка». Обычно в экспериментах используются металлические горячие пластинки, нагреваемые горячей водой [8, 9] и обладающие высокой теплопроводностью, что не позволяет медленно изменять их температуру и, следовательно, фиксировать ее минимальное значение (порог), при котором начинается реакция избегания. Для определения БП была создана специальная установка [10], особенностью которой является горячая пластинка, изготовленная из стекла, на нижнюю поверхность которого методом распыления в вакууме нанесен нитрид титана. Такая конструкция позволяет медленно изменять температуру пластинки (скорость нагрева стекла 0,2 °/сек-0,4 °/сек при изменениях тока на контактах в пределах 0,35 – 0,55 А) и измерять БП и ЛП.

Регистрацию параметров болевой чувствительности проводили ежедневно после очередного воздействия электромагнитным фактором у каждого животного (11:00-13:00 ч) на протяжении 21 дня.

Эффект воздействия факторов на параметры болевой чувствительности оценивался по коэффициенту эффективности. Каждое из измеряемых значений К как в опыте (Кэ), так и в контроле (Кк) является результатом усреднения измерений на 20 животных:

$$\Delta K_{эф} = \frac{(K_{э} - K_{к}) \pm (\delta_{э} + \delta_{к})}{(K_{к} \pm \delta_{к})} \cdot 100\%,$$

где  $K_{эф}$  – коэффициент эффективности,  $K_{э}$  – величина ЛП в экспериментальной группе,  $K_{к}$  – величина ЛП в контрольной группе животных,  $\delta_{э}, \delta_{к}$  – стандартные ошибки измерений в опыте и контроле.

Статистическую обработку и анализ материала проводили с помощью параметрических методов, применение которых позволили проверить полученные данные на закон нормального распределения. Вычисляли среднее значение исследуемых величин, ошибку средней. Для оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали t-критерий Стьюдента. Оценивалась достоверность различий параметров болевой чувствительности в каждый день между данными групп ( $p_1$ ), между исходными данными и данными каждого дня ( $p_2$ ). Расчеты и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием программы Microsoft Excel [11].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что БП у интактных животных колебался в пределах от 30,39°C до 30,69°C, ЛП – от 9,71 с до 10,16 с. Как показали данные эксперимента, изменения параметров болевой чувствительности интактных моллюсков в течение 21-суточного эксперимента достоверно не отличались от фоновых значений. Показатели болевой

чувствительности моллюсков в среднем составили БП –  $30,52 \pm 0,02^\circ\text{C}$ , ЛП –  $9,89 \pm 0,02$  с.

В литературе существуют сведения о величине латентного периода на ноцицептивное раздражение у улиток других видов. Согласно Frank S. Prato [9], у моллюсков *Cerpea nemoralis* латентный период реакции избегания при температуре  $40,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$  составляет 4,8-6,5 с, что несколько меньше значений, зарегистрированных нами. Это может быть связано как с различной конструкцией пластинки, так и с видовыми различиями используемых в эксперименте улиток, а также с тем, что в исследованиях F.S. Prato et al. латентный период измеряется при  $t = 40^\circ\text{C}$ , тогда как в наших опытах латентный период измерялся при минимальном значении температуры, при которой развивается реакция избегания.

Анализ динамики параметров болевой чувствительности выявил некоторые различия между группой экспериментальных данных и контрольной.

Динамика параметров болевой чувствительности моллюсков, подвергнутых действию ПеМП СНЧ, отличалась от таковой группы интактных животных и животных группы «плацебо». В среднем значения БП составили  $31,00 \pm 0,11^\circ\text{C}$ , ЛП –  $10,63 \pm 0,16$  с. В первые трое суток исследования отмечена тенденция к снижению показателей болевой чувствительности, минимальное значение Кэф при этом было зарегистрировано на вторые сутки эксперимента, когда оно составило -3,46% (рис. 1). Но уже с пятых суток имеет место достоверное возрастание БП и ЛП, что выражается в снижении чувствительности к боли.

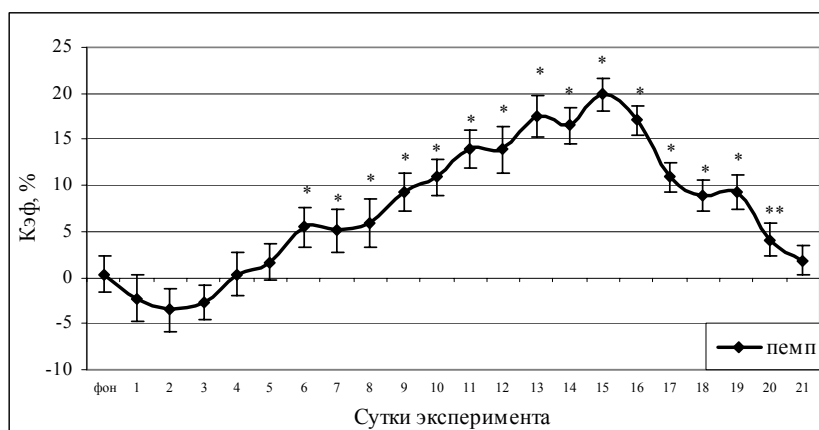


Рис. 1. Динамика коэффициента эффективности ( $\bar{x} \pm S\bar{x}$ ) слабого переменного магнитного поля сверхнизкой частоты.

Примечание: Р – достоверность различий между исходными данными и данными каждого дня; \* – ( $p_2 < 0,001$ ), \*\* – ( $p_2 < 0,01$ ).

Данный эффект продолжительный, длящийся 17 суток, и максимально выражен на 15 сутки эксперимента. Кэф в этот период был равен 19,88% ( $p_2 < 0,001$ ). В

последующие сроки отмечено снижение показателей болевой чувствительности до нулевого уровня, что свидетельствует об утрате анальгетического эффекта.

Таким образом, трехчасовое воздействие ПеМП СНЧ 8 Гц вызывает фазные изменения параметров болевой реакции моллюсков *Helix albescens*: непродолжительная стадия гиперчувствительности (первые-третьи сутки эксперимента) сменяется хорошо выраженной гипоаналгезией (Кэф – 19,88%) (II фаза – 5-17 сутки), сопровождающейся в последующие сутки резким спадом наблюдаемого эффекта.

Анализ параметров болевой чувствительности группы животных, подвергавшихся 30-минутному воздействию ЭМИ КВЧ, выявил следующие особенности. Динамика БП и ЛП этой группы животных отличалась от таковой контрольных животных и животных, подвергнутых «мнимому» воздействию. Как и при экранировании, а также при действии слабых ПеМП СНЧ, ЭМИ КВЧ вызывает фазные изменения показателей.

В течение первых трех суток наблюдения БП и ЛП моллюсков данной группы снижались относительно исходного уровня данных, достигая минимального значения на второй день –  $30,28 \pm 0,14^\circ\text{C}$  и  $9,53 \pm 0,21$  с соответственно. Таким образом, БП снижался на 0,90%, ЛП – на 4,20%. Кэф достигал своего минимума на третьи сутки, достигая -3,47% (рис. 2). Начиная с четвертых суток наблюдений, отмечена смена знака Кэф изучаемых показателей на противоположный и постепенное его возрастание, что свидетельствует о нарастании гипоаналгетического эффекта.

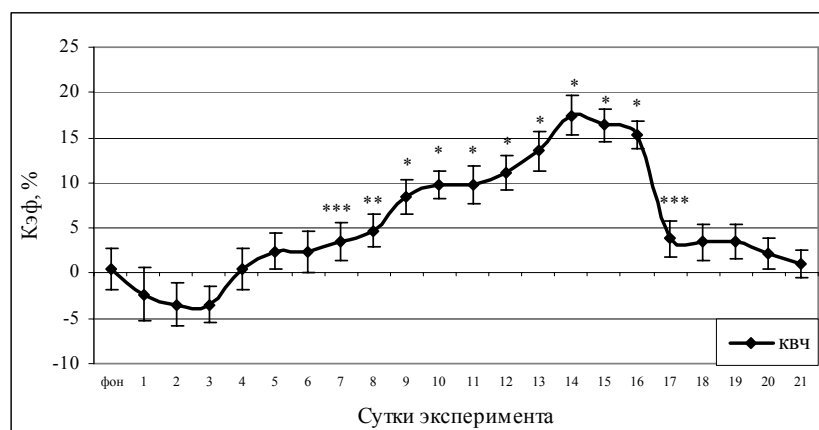


Рис. 2. Динамика коэффициента эффективности ( $\bar{x} \pm S\bar{x}$ ) электромагнитного поля крайне высокой частоты.

Примечание: Р – достоверность различий между исходными данными и данными каждого дня; \* – ( $p_2 < 0,001$ ), \*\* – ( $p_2 < 0,01$ ), \*\*\* – ( $p_2 < 0,05$ ).

Максимальный гипоаналгетический эффект действия ЭМИ КВЧ зарегистрирован на 14 сутки эксперимента, когда он составил 17,43% ( $p_2 < 0,001$ ), что 2,45% меньше, при сравнении с эффектом группы животных, подвергнутых

действию слабых ПеМП СНЧ. Последующие сутки наблюдений характеризовались возвращением значений БП и ЛП к исходному уровню (III фаза).

Полученные данные о снижении болевой чувствительности у моллюсков под влиянием низкоинтенсивных ЭМИ КВЧ согласуются с литературными источниками о выраженном антиноцицептивном действии электромагнитного фактора на волонтеров и экспериментальных животных (крыс, мышей) [12, 13].

Таким образом, при сравнении динамики параметров болевой чувствительности у моллюсков, подвергнутых действию низкоинтенсивных электромагнитных факторов различных частотных диапазонов, отмечены некоторые сходства и различия их эффектов. Оба фактора вызывают фазные изменения БП и ЛП, I фаза гипераналгезии выражена одинаково и имеет одинаковую продолжительность. Гипоаналгетический эффект при действии слабых ПеМП СНЧ, хоть и развивается на сутки позже, чем в группе животных, подвергнутых 30-минутному воздействию ЭМИ КВЧ, но выражен больше и более продолжительный.

Выяснение особенностей действия низкоинтенсивных ЭМИ крайних частотных диапазонов имеет важное значение, т.к. они объясняют стадию обострения при КВЧ-терапии. В то же время полученные данные могут служить основанием для применения слабых СНЧ ПеМП для терапевтических целей.

### ВЫВОДЫ

1. Низкоинтенсивные ЭМИ крайних частотных диапазонов (ЭМИ КВЧ и ПеМП СНЧ) вызывают фазные изменения болевой чувствительности моллюсков *Helix albenscens*.
2. Изменения параметров болевой чувствительности *Helix albenscens* характеризуются непродолжительной и слабо выраженной стадией гипераналгезии (I фаза), сменяющейся гипоаналгетическим эффектом (II фаза), наиболее ярко выраженным при воздействии ПеМП СНЧ по сравнению с действием ЭМИ КВЧ.

### Список литературы

1. Лиманский Ю.П. Возможные механизмы взаимодействия низкоинтенсивных электромагнитных излучений с организмом человека / Ю.П. Лиманский, Н.Д. Колбун // Теория и практика информационно-волновой терапии / Под ред. Н.Д. Колбуна. – К., 1996. – С. 30–42.
2. Лебедева Н.И. Экспериментально-клинические исследования в области биологических эффектов миллиметровых волн / Н.И. Лебедева, Т.И. Котровская // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 1999. – №3. – С. 3–14.
3. Темуриянц Н.А. Нервные и гуморальные механизмы адаптации к действию неионизирующих излучений: автореф. дисс. на соискание науч. степени д-ра биол. наук: спец. 03.00.13 «Физиология человека и животных» / Н.А. Темуриянц– М. – 1989. – 44 с.
4. Schumann W.O. Über die Dämpfung der electromagnetischen Eigenwingungen des Systems Erde-Luft-Ionosphere / W.O. Schumann // Naturwissenschaft. – 1982. – Vol. 7a. – P. 250–254.
5. Ашофф Ю. Биологические ритмы / Ашофф Ю. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 176 с.
6. Сидякин В.Г. Влияние глобальных экологических факторов на нервную систему / Сидякин В.Г. – Киев.: Наукова думка, 1986. – 160 с.

7. Polk G. Resonances of ears ionosphere cavity – extremely low frequency reception at Kingston / G. Polk, F. Fitchen, W.O. Schumann // Radio Propagation. – 1962. – Vol. 3(66). – P. 313.
8. Prato F.S. Extremely low frequency magnetic fields can either increase or decrease analgesia in the land snail depending on field and light conditions / F.S. Prato, M. Kavaliers, A.W. Thomas // Bioelectromagnetics. – 2000. – Vol. 21. – P. 287–301.
9. Prato F.S. Behavioural evidence that magnetic field effects in the land snail, *Cepaea nemoralis*, might not depend on magnetite or induced electric currents / F.S. Prato, M. Kavaliers, J.J.L. Carson // Bioelectromagnetics. – 1996a. – Vol. 17. – P.123–130.
10. Вишне夫斯基 В.Г. Установка для определения параметров болевой чувствительности наземных моллюсков / В.Г. Вишне夫斯基, А.С. Костюк, Н.А. Темурьянц // Физика живого. – 2009. – Т. 17(2). – С. 174–178.
11. Лапач С.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н. – К.: Модмон, 2000. – 319 с.
12. Electromagnetic millimeter wave induced hypoalgesia: Frequency dependence and involvement of endogenous opioids / A.A. Radzievsky, O.V. Gordiienko, S. Alekseev [et al.] // Bioelectromagnetics. – 2008. – Vol. 29(4). – P. 284–295.
13. Чужан Е.Н. Механизмы антиноцицептивного действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения: [монография] / Е.Н. Чужан, Э.Р. Джелдубаева – Симферополь: Диайпи, 2006. – 458 с.

**Костюк О.С. Динаміка больової чутливості молюсків *Helix albescens* при дії низькоінтенсивних електромагнітних випромінювань крайніх частотних діапазонів / О.С. Костюк, К.Н. Туманянц // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2010. – Т. 23 (62). – № 2. – С. 116–122.**

Вивчені зміни параметрів больової чутливості молюсків *Helix albescens* при дії низькоінтенсивних електромагнітних випромінювань крайніх частотних діапазонів (ЕМВ НВЧ і ЗМП ННЧ). Показано, що електромагнітні фактори викликають фазні зміни больової чутливості: збільшення чутливості до болю (гіпераналгезія) змінюється гіпоаналгетичним ефектом. Найбільш стійкий гіпоаналгетичний ефект викликає ЗМП ННЧ, який швидко розвивається і відрізняється більшою тривалістю.

**Ключові слова:** больова чутливість, змінне магнітне поле наднизької частоти, електромагнітне випромінювання надвисокої частоти, молюски.

**Kostyuk A.S. Dynamics of pain sensitivity molluscs *Helix albescens* in action low-intensity electromagnetic radiation of extremely frequency range / A.S. Kostyuk, K.N. Tumanyants // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2010. – V.23 (62). – № 2. – P. 116–122.**

Changes in parameters of pain sensitivity molluscs *Helix albescens* under electromagnetic radiation (EMR) of extremely low-intensity of frequency (electromagnetic field (EMF) of extremely high frequency (EHF) and EMR of extremely low frequency (ELF)) influence. It is shown that electromagnetic factors cause phase changes in pain sensitivity: increased sensitivity to pain (hyperanalgesia) replaced hypoanalgetic effect. The most lasting hypoanalgetic effect causes EMR of ELF, which is developing rapidly and has a long duration.

**Keywords:** pain sensitivity, EMR of ELF, EMF of EHF, molluscs.

*Поступила в редакцію 28.05.2010 г.*