

УДК: 577.3

Особенности действия слабого низкочастотного переменного магнитного поля на интенсивность деления планарий *Dugesia tigrina* при «нулевой» и геомагнитной величинах постоянного магнитного поля

Новиков В. В.

Показано, что воздействие переменным низкочастотным магнитным полем (частота 3,7 Гц, амплитуда индукции 40 нТл, экспозиция 4 часа) стимулирует деление планарий в сочетании с коллинеарным постоянным магнитным полем с индукцией 42 мкТл. При компенсации постоянного МП (индукция $\leq 0,1$ мкТл) это переменное магнитное поле вызывает противоположно направленный ингибирующий эффект – число делений планарий снижается.

Ключевые слова: магнитное поле, планарии, морфогенез

Features of action of weak low-frequency alternating magnetic field on the intensity of division planarian *Dugesia tigrina* at static magnetic field with "zero" and geomagnetic values

Novikov V. V.

It has been shown that exposure of the planarians to low-frequency alternating magnetic field (frequency of 3,7 Hz, the amplitude of 40 nT, exposure 4 h) in combination with a static magnetic field collinear with the induction of 42 μ T promoted its division. On other hand compensation of the static magnetic field (induction $\leq 0,1$ μ T) by means of alternating magnetic field resulted in the opposite directional inhibitory effect consisted of reduction of the number of divisions of planarians.

Key words: magnetic field, planarians, morphogenesis

Введение

В связи с уникальной способностью к регенерации и относительно простой структурно-функциональной организацией планарии широко используются для изучения действия различных химических и физических факторов на процессы морфогенеза. В магнитобиологических исследованиях изучение зависимостей реакции морфогенетических процессов от параметров магнитных полей (МП): величин и взаимной ориентации постоянной и переменной компонент поля, частот и амплитуд переменной компоненты, условий с исключением (экранировкой) магнитного поля, позволили найти магнитные условия, как стимулирующие [6,10,11], так и ингибирующие [1,4,7] эти процессы. Эти данные обеспечивают возможность поиска наиболее вероятных мишеней и биофизических механизмов действия слабых МП. К сожалению, во многих работах недостаточно корректно соблюдены и представлены магнитные условия экспериментов, что затрудняет их воспроизведение и делает малоинформативными их результаты [2].

Для корректной постановки магнитобиологических экспериментов следует учесть, что в естественных условиях биологический объект находится в повсеместном геомагнитном поле (ГМП), основу которого составляет относительно стабильное постоянное магнитное поле с величиной в диапазоне 35—65 мкТл, также присутствуют низкочастотные пульсации и техногенные помехи преимущественно на промышленной частоте. В связи с этим соблюдение контролируемых магнитных условий эксперимента превращается в нетривиальную задачу с необходимостью исключения или мониторинга и дальнейшей оценки вклада фоновых полей.

Для анализа действия слабого низкочастотного МП нами использована модель бесполого размножения (деления) планарий, ранее показавшая свою чувствительность в магнитобиологических экспериментах [10]. Деление планарий является результатом сложного подготовительного морфогенетического процесса, формирующего зону деления в заглочной области тела планарии и оканчивающегося разрывом тела на этом уровне.

Цель исследования

В настоящем исследовании поставлена задача изучить влияние очень слабой переменной низкочастотной компоненты на интенсивность деления планарий *Dugesia tigrina* в двух случаях. Во-первых, в условиях практически полного исключения с помощью магнитного экранирования всех сопутствующих магнитных полей. Во-вторых, в контролируемых магнитных условиях, приближенных к естественным: в присутствии коллинеарного постоянного МП с величиной, входящей в диапазон геомагнитного поля, но с исключением техногенных и естественных флуктуаций МП.

Материалы и методы

Для опытов использовали плоских червей — планарий *Dugesia tigrina* бесполой расы, которые воспроизводятся простым отделением хвостового конца. Особенно интенсивно они делятся, будучи рассажены по одной. Культуру планарий содержали в полутемных условиях при температуре около 20° С в больших сосудах (10—20 л) в смеси водопроводной и дистиллированной воды (2:1), которую меняли два раза в год. Кормили планарий два раза в неделю мотылем или дождевыми червями.

Исследовали действие слабых МП на бесполое размножение планарий. В каждом опыте планарии делили на контрольные и экспериментальные группы по 50 особей в каждой. Опыты повторяли не менее трех раз. Для воздействий МП планарий отбирали в стеклянные стаканы с 100 мл воды через 3—4 дня после кормления. После четырех часового воздействия МП планарий рассаживали по одной в стаканчики с 40 мл воды. Аналогичные манипуляции совершали с планариями из контрольных групп. Ежедневно учитывали и удаляли поделившихся планарий. Наблюдения велись в течение пяти дней, в течение которых большинство планарий делилось.

Исследования проводили одновременно на двух одинаковых установках и в условиях естественного ГМП. Установка для воздействия экспериментальным МП и экранировки от внешних МП состояла из магнитной катушки для формирования коллинеарных постоянного и переменного МП, подключенной к генератору синусоидальных сигналов и источнику постоянного тока, обеспечивающих формирование постоянного и переменного МП; внешнего

магнитного экрана из пермаллоя с коэффициентом экранирования ≈ 650 . Величины действующих полей определяли измерением с помощью феррозондового магнитометра Mag-03 MS 100 (Bartington, UK).

Были поставлены две серии опытов. В первой серии воздействие на планарий осуществляли переменным МП с частотой 3,7 Гц и индукцией 40 нТл при «нулевом» постоянном МП в условиях практически полной экранировки постоянной компоненты ГМП (величина постоянного МП $\leq 0,1$ мкТл). Контрольные группы животных находились во второй установке только в условиях экранированного ГМП. Отдельные группы животных находились в условиях естественного ГМП (постоянное МП ≈ 42 мкТл, техногенный фон 50 Гц, 30 нТл).

Вторая серия опытов была поставлена идентично первой за исключением того, что дополнительно и в контроле и в опыте формировали постоянное МП с индукцией 42 мкТл (геомагнитный диапазон интенсивности).

Результаты статистически обрабатывали с применением *t*-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Как показано на рисунок. 1, четырех часовая экспозиция в переменном МП (3,7 Гц, 100 нТл) значительно ингибирует деление планарий в условиях практически полной экранировки постоянного ГМП (постоянное МП $\leq 0,1$ мкТл). Отмечается заметное снижение числа делений в первые двое суток после воздействия, особенно выраженное (более чем в 2 раза) в первые сутки. Затем число делений в опыте возрастает. Следует отметить различия, наблюдаемые между основными контрольными группами (в экранированной камере с ослабленным ГМП) и дополнительными группами, находящимися в естественной магнитной обстановке (вне камеры с постоянным ГМП 42 мкТл и техногенными помехами — 50 Гц, 30 нТл). Пребывание в гипомагнитных условиях немного стимулирует деление планарий — приблизительно на 30 % в первые сутки эксперимента.

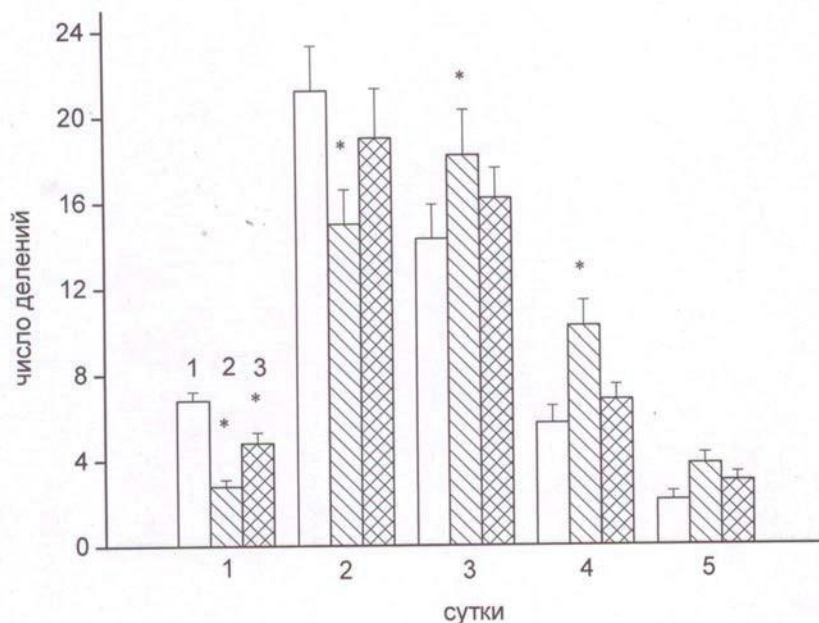


Рисунок. 1 — Влияние переменного магнитного поля (3,7 Гц; 40 нТл; 4 часа) на интенсивность деления планарий при «нулевом» постоянном магнитном поле ($\leq 0,1$ мкТл). 1 — контроль; 2 — опыт; 3 — естественное ГМП. Здесь и на следующем рисунке показаны средние значения + стандартные отклонения. Звездочкой отмечены достоверные отличия от показателей контрольной группы ($P < 0,05$).

Обратный эффект (стимуляция делений) отмечен при воздействии переменным МП в присутствии коллинеарного постоянного МП индукцией 42 мкТл. В этом случае 4х часовое пребывание в комбинированном постоянном и переменном МП значительно (приблизительно в 2,5 раза) увеличивало число делений у планарий в первые двое суток после воздействия (Рисунок. 2). Различий между контрольными группами: 1 контроль (в камере) и 2 контроль (в естественных условиях) при равной величине постоянного МП — 42 мкТл, в этом случае не наблюдалось.

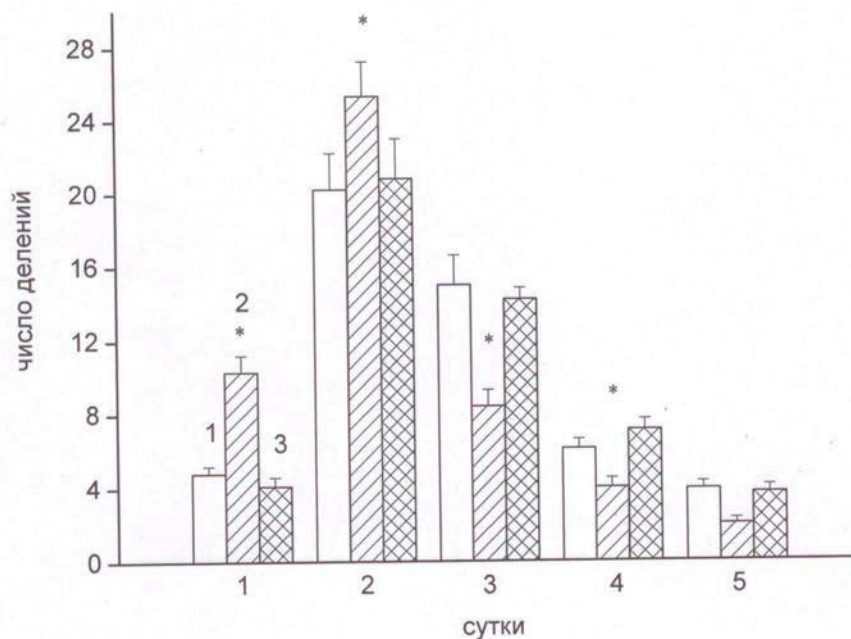


Рисунок. 1 — Влияние переменного магнитного поля (3,7 Гц; 40 нТл; 4 часа) на интенсивность деления планарий при геомагнитной величине постоянном магнитном поле (42 мкТл). 1 — контроль; 2 — опыт; 3 — естественное ГМП.

Таким образом, в двух различных вариантах опытов действие переменной низкочастотной компоненты (3,7 Гц, 100 нТл, экспозиция 4 часа), на фоне практически исключенного «нулевого» постоянного МП и в условиях комбинированного воздействия с коллинеарным постоянным МП — 42 мкТл (геомагнитный диапазон интенсивности), проявлялось по разному. В условиях «нулевого» постоянного МП переменное МП ингибировало деление планарий. При геомагнитной величине постоянного МП переменное МП стимулировало этот процесс. Различная направленность эффектов действия переменного МП в случаях наличия или отсутствия постоянного МП позволяет предположить, что при реализации биологического действия МП в этих двух случаях задействованы различные биофизические механизмы. В случае с наличием постоянного МП эффект может осуществляться по механизмам циклотронного [9] либо параметрического резонансов [8]. При отсутствии постоянного МП известные резонансные механизмы не могут быть реализованы, однако не исключены эффекты с учетом действия поля на магнитные моменты биологически важных атомов [3,5]. Ясно, что полученные результаты представляют интерес для анализа биофизических механизмов биологического действия слабых МП.

Следует отметить, что приведенная в работе постановка опытов с одновременным использованием двух идентичных магнитоэкранированных камер с встроенной системой формирования экспериментальных МП, позволила практически исключить сопутствующие магнитные помехи и повысила надежность полученных результатов. Реализованный нами экспериментальный подход выгодно отличается от постановки опытов в предыдущих работах [1,11], в которых в экспериментах с очень слабыми МП не использовались системы защиты от техногенных и природных магнитных флуктуаций. Интерес к исследованиям биологического действия этих полей обусловлен в частности выяснением биологической роли природных магнитных пульсаций типа Рс 1 с частотой от 0,2 до 5,0 Гц и амплитудами в диапазоне от долей до десятков нТл, являющихся по данным эпидемиологических исследований возможными причинами острых нарушений кровообращения (инфаркты, инсульты). В этой связи для определения биологической эффективности параметров сопоставимых по величине полей необходима экранировка или активная компенсация природных и техногенных помех, сопровождающих любой магнитобиологический эксперимент.

Выводы

Опыты на чувствительной к действию слабых МП тест-системе — процессе бесполого размножения (деления) планарий *Dugesia tigrina*, показали неравнозначность биологической эффективности воздействия слабого низкочастотного МП в условиях с «нулевой» и геомагнитной компонентами постоянного МП. В этих двух случаях отмечены противоположно направленные биологические эффекты. В присутствии постоянного МП переменное МП вызывает выраженный стимулирующий эффект — число делений у планарий увеличивается. При практически полной экранировке постоянного МП одна переменная компонента МП вызывает обратный — ингибирующий эффект. Различия ответов использованной тест-системы на переменное МП в этих двух разных вариантах опытов указывает на возможные отличия биофизического механизма действия МП в случае присутствия или отсутствия постоянного МП. Использование в опытах одновременно двух идентичных экранируемых камер повышает надежность полученных результатов, так как снижает их зависимость от действия сопутствующих техногенных и природных МП, а

также и других физических факторов потенциально влияющих на процессы морфогенеза.

Благодарности

Автор выражает особую признательность Шейман Инне Моисеевне за консультативную и методическую помощь при выполнении работы.

Литература

1. Белова, Н. А., Ермаков, А. М., Знобищева, А. В., Сребницкая, Л. К., Леднев, В. В. Влияние крайне слабых переменных магнитных полей на регенерацию планарий и гравитационную реакцию растений // Биофизика. 2010. - Т. 55. - Вып. 4. - С. 704-709.
2. Бинги, В. Н. Принципы электромагнитной биофизики // Москва. Изд-во Физматлит, 2011. - 592 с.
3. Леднев, В. В. Биологические эффекты крайне слабых переменных магнитных полей: идентификация первичных мишеней // «Моделирование геофизических процессов». Сб. статей. Объединенный институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта. 2003. - С. 130-136.
4. Новиков, В. В., Шейман, И. М. Влияние комбинированных магнитных полей, настроенных на ион-циклотронный резонанс для иона кальция, на интенсивность деления у планарий // Биофизика. 2012. - Т. 57. - Вып. 2. - С. 346-349.
5. Пономарев, В. О., Новиков, В. В. Действие низкочастотных переменных магнитных полей на скорость биохимических реакций, приводящих к образованию активных форм кислорода // Биофизика. 2009. - Т. 54. - Вып. 2. - С. 235-241.
6. Тирас, Х. П., Сребницкая, Л. К., Ильясова, Е. Н., Климов, А. А., Леднев, В. В. Влияние слабого комбинированного магнитного поля на скорость регенерации планарий *Dugesia tigrina* // Биофизика. 1996. - Т. 41. - Вып. 4. - С. 826-831.
7. Jenrow, K. A., Smith, C. H., Liboff, A. R. Weak extremely-low-frequency magnetic fields and regeneration in the planarian *Dugesia tigrina* // Bioelectromagnetics. 1995. - Vol. 16. - P. 106-112.

8. Lednev, V. V. Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems // *Bioelectromagnetics*. 1991. - Vol. 12. - P. 7175.
9. Liboff, A. R. Geomagnetic cyclotron resonance in membrane transport // *J. Biol. Phys.* 1985. - Vol. 13. - P. 99-102.
10. Novikov, V.V., Sheiman, I. M., Fesenko, E. E. Effect of weak static and low-frequency alternating magnetic fields on the fission and regeneration of the planarian *Dugesia (Girardia) tigrina* // *Bioelectromagnetics*. 2008. - Vol. 29. – P. 387-393.
11. Tessaro, L. W. E., Persinger M. A. Optimal durations of single exposures to a frequency-modulated magnetic field immediately after bisection in planarian predict final growth values // *Bioelectromagnetics*. 2013. - Vol. 34 - P. 613-617.

Literature

1. Belova, N. A., Ermakov, A. M., Znobishheva, A. V., Srebnickaya, L. K., Lednev, V. V. Vliyanie krajne slabyx peremennyx magnitnyx polej na regeneraciyu planarij i gravitacionnyu reakciyu rastenij // *Biofizika*. 2010. - T. 55. - Vyp. 4. - S. 704-709.
2. Bingi, V. N. Principy e'lektromagnitnoj biofiziki // Moskva. Izd-vo Fizmatlit, 2011. - 592 s.
3. Lednev, V. V. Biologicheskie e'ffekty krajne slabyx peremennyx magnitnyx polej: identifikaciya pervichnyx mishenej // «Modelirovanie geofizicheskix processov». Sb. statej. Ob"edinennyj institut fiziki Zemli im. O. Yu. Shmidta. 2003. - S. 130-136.
4. Novikov, V. V., Shejman, I. M. Vliyanie kombinirovannyx magnitnyx polej, nastroyennyx na ion-ciklotronnyj rezonans dlya iona kal'ciya, na intensivnost' deleniya u planarij // *Biofizika*. 2012. - T. 57. - Vyp. 2. - S. 346-349.
5. Ponomarev, V. O., Novikov, V. V. Dejstvie nizkochastotnyx peremennyx magnitnyx polej na skorost' bioximicheskix reakcij, privodyashhix k obrazovaniyu aktivnyx form kisloroda // *Biofizika*. 2009. - T. 54. - Vyp. 2. - S. 235-241.

6. Tiras, X. P., Srebnickaya, L. K., Il'yasova, E. N., Klimov, A. A., Lednev, V. V. Vliyanie slabogo kombinirovannogo magnitnogo polya na skorost' regeneracii planarij *Dugesia tigrina* // *Biofizika*. 1996. - Т. 41. - Vyp. 4. - S. 826-831.
7. Jenrow, K. A., Smith, C. H., Liboff, A. R. Weak extremely-low-frequency magnetic fields and regeneration in the planarian *Dugesia tigrina* // *Bioelectromagnetics*. 1995. - Vol. 16. - P. 106-112.
8. Lednev, V. V. Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems // *Bioelectromagnetics*. 1991. - Vol. 12. - P. 71-75.
9. Liboff, A. R. Geomagnetic cyclotron resonance in membrane transport // *J. Biol. Phys.* 1985. - Vol. 13. - P. 99-102.
10. Novikov, V.V., Sheiman, I. M., Fesenko, E. E. Effect of weak static and low-frequency alternating magnetic fields on the fission and regeneration of the planarian *Dugesia (Girardia) tigrina* // *Bioelectromagnetics*. 2008. - Vol. 29. – P. 387-393.
11. Tessaro, L. W. E., Persinger M. A. Optimal durations of single exposures to a frequency-modulated magnetic field immediately after bisection in planarian predict final growth values // *Bioelectromagnetics*. 2013. - Vol. 34 - P. 613-617.