

УДК 577.35:592

ПРОФИЛАКТИКА ЭКРАНОИНДУЦИРОВАННОГО ДЕСИНХРОНОЗА У БЕСПОЗВОНОЧНЫХ НИЗКОИНТЕНСИВНЫМ ПЕРЕМЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ КРАЙНЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

© 2017 г. Н.А. Темуриянц¹, К.Н. Туманянц^{1,2}, А.С. Костюк³, Н.С. Ярмолук¹,
Е.Н. Туманянц^{1,2}

¹ Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Республика Крым, Россия

² Научно-исследовательский центр экспериментальной физиологии и биотехнологий,
Таврическая академия, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,
г. Симферополь, Республика Крым, Россия

³ Образовательно-научный центр «Институт биологии», Киевский национальный университет
им. Тараса Шевченко, г. Киев, Украина

Обнаружено, что в условиях умеренного ферромагнитного экранирования, при котором ослабляются переменный и постоянный компоненты геомагнитного поля, у планарий *Dugesia tigrina* и моллюсков *Helix albescens* развивается десинхроноз, диагностируемый по характерным изменениям инфрадианной ритмики скорости движения планарий и параметров ноцицепции моллюсков (уменьшение числа выявляемых периодов или их изменения, сдвиги фаз, особенно выраженные в самых коротких периодах). При дополнительном воздействии на животных, находящихся в условиях экранирования, переменного магнитного поля частотой 8 Гц индукцией 50 нТл изменение ритмических процессов инфрадианного диапазона у беспозвоночных не обнаруживается. Делается вывод о том, что переменное магнитное поле частотой 8 Гц препятствует развитию экраноиндуцированного десинхроноза.

Ключевые слова: ферромагнитное экранирование, переменное магнитное поле частотой 8 Гц, профилактика, десинхроноз, инфрадианная ритмика, скорость движения, ноцицепция, планарии, моллюски.

Введение

Наличие эффектов ферромагнитного экранирования (ФМЭ) привлекает внимание исследователей различного профиля. Их изучение вызвано как необходимостью решения ряда фундаментальных проблем, в частности доказательства важной экологической роли геомагнитного поля (ГМП), выяснения факторов, ответственных за эффекты экранирования, механизмов действия комбинированных магнитных полей, модификации

эффектов сверхслабых факторов и т.д., так и решением прикладных задач, в том числе выяснением неблагоприятных последствий пребывания в таких условиях, а также их предупреждения и коррекции.

Установлено, что даже умеренное снижение интенсивности любого (переменного или постоянного) компонента ГМП вызывает у позвоночных животных, людей, трудовая деятельность которых осуществляется в условиях воздействия ГМП, развитие десинхроноза, диагностируемого, как правило, по изменению параметров циркадианного ритма различных физиологических систем [Wever, 1973; Бородин, Летягин, 1990; Темурьянц и др., 2010; Замощина и др., 2012; Темурьянц, Костюк, 2012]. Будучи неспецифическим проявлением нарушения временной организации, десинхроноз возникает всегда при действии на организм факторов электромагнитной природы, адаптационных реакциях, различных заболеваниях и является наиболее ранним признаком развивающихся в дальнейшем нарушений [Комаров и др., 1994; Ратнопорт, 1997]. Поэтому одной из актуальных проблем является поиск средств, предупреждающих появление десинхронозов различного генеза и экраноиндуцированного в частности.

Показано коррегирующее действие на развитие десинхроноза у волонтеров, находящихся в бункере, переменного магнитного поля (ПеМП) частотой 10 Гц [Wever, 1973] и на экранообусловленные нарушения ноцицепции у животных ПеМП частотой 30 и 120 Гц [Prato, 2015]. Ранее нами было показано, что дополнительное воздействие на животных, находящихся в условиях ферромагнитного экранирования, ПеМП частотой 8 Гц индукцией 50 нТл значительно снижает гипералгетический эффект экранирования и начальное угнетение опиоидной системы [Темурьянц, Костюк, 2012, 2015].

Известно, что ПеМП частотой 8 Гц (шумановский резонанс) – важная составляющая природного электромагнитного фона и используется в биосфере для передачи разнообразной информации (в частности, в виде датчиков времени в широком диапазоне периодов [Темурьянц и др., 1992а, б; Мартынюк, Темурьянц, 2008]). В экспериментальных условиях показано, что ПеМП таких параметров изменяют временную организацию биологических систем [Temuryants et al., 2004], причем эти изменения могут быть единственным свидетельством реакции животных на действия электромагнитного фактора. Обнаружена также профилактика стресс-индуцированного десинхроноза у крыс дополнительным применением ПеМП частотой 8 Гц и интенсивностью 50 нТл [Темурьянц и др., 1992а, б]. На этом основании можно предположить, что ПеМП может изменять и временную организацию биологических систем, нарушенную ФМЭ. Целью настоящего исследования является изучение влияния ПеМП частотой 8 Гц на развитие экранообусловленного десинхроноза у животных.

Использованные данные и методы исследования

Изучение биологического проявления факторов низкой интенсивности требует использования объектов и методов исследования, отличающихся высокой чувствительностью к действию исследуемого фактора, информативностью, экономичностью, скоростью получения результатов, возможностью длительного использования в экспериментах. Этим требованиям отвечают исследования с использованием беспозвоночных животных, в частности планарий и моллюсков, выполненные в соответствии с международными принципами Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях [Европейская конвенция..., 1986]. В подобных экспериментах изучены феноменология, закономерности, некоторые механизмы действия низкоинтенсивных электромагнитных факторов [Jenrow et al.,

1995; Турас и др., 1996; Темурьянц и др., 2010; Mulligan et al., 2012]. В нашем исследовании использовались планарии *Dugesia tigrina* и моллюски *Helix albescens*.

Исследование планарий. Использовали лабораторную бесполоую расу планарий *Dugesia tigrina*, любезно предоставленную Институтом биофизики клетки РАН, а в настоящее время успешно культивируемую в Таврической академии Крымского федерального университета (КФУ) им. В.И. Вернадского. Условия культивирования полностью соответствуют таковым в Институте биофизики клетки РАН [Демцун и др., 2009]. Исследования проводились под контролем комиссии по биоэтике КФУ им. В.И. Вернадского. Для экспериментов отбирали животных длиной $\approx 9 \pm 1$ мм, у которых движение осуществляется за счет ресничек, а не мускулатуры [Шмидт-Нильсен, 1982].

В качестве исследуемого показателя выбрана скорость движения (СД) животных, так как электромагнитные факторы различных параметров изменяют аппарат движения – реснички, жгутики [Денисенкова и др., 1997], а также структуру их основного белка – тубулина [Wang et al., 2008]. Планарий для опыта отбирали через 3–4 дня после кормления. Каждое животное помещалось в отдельный флакон с 20 мл физиологического раствора, что позволяло регистрировать СД индивидуально в динамике. СД планарий определяли с помощью компьютерных технологий анализа изображений. Для получения стандартных изображений нерегенерирующих планарий использовали видеокамеру Sun Kwang (модель SK-2046, размер датчика – 1/3 дюйма, 570 телевизионных линий), смонтированную на окуляре бинокулярного микроскопа «МБС-10». Через видеотюнер Kworld (разрешение 640×480) изображение передавали на персональный компьютер. Обработку и анализ результатов осуществляли с помощью пакета программного обеспечения «Image-Pro». СД планарий измерялась в миллиметрах в секунду. Для этого видеоизображения движущихся в воде планарий регистрировались с частотой 30 кадров в 1 с. Путь измерялся наложением двух участков одного видеоряда с соответствующей разницей во времени. Контрастирование проводилось при помощи стандартной операции «вычитания» для двух изображений [Темур'янц и др., 2010а].

Исследование моллюсков. Исследования проведены на наземных брюхоногих моллюсках *Helix albescens*. Использовались половозрелые, одинаковые по массе и размерам животные, которых содержали в светонепроницаемых стеклянных террариумах в условиях постоянного температурного режима (22 ± 2 °С), высокой влажности и избытка пищи. Реакция моллюсков на воздействие оценивалась по порогу и латентному периоду (ЛП) реакции избегания термического стимула в тесте «горячая пластинка». Пластинка была изготовлена из стекла; на нижнюю поверхность пластинки методом распыления в вакууме наносился слой нитрида титана [Темур'янц и др., 2010б].

Методика исследований. Изучалась многодневная ритмика СД планарий и параметров ноцицепции моллюсков. Известно, что важнейшие теоретические принципы хронобиологии сформулированы на основе детального исследования одного ритма – циркадианного. Однако временную организацию биологических систем характеризует спектр периодов, в котором важное место занимает инфрадианная ритмика (ИР). Ритмика этого диапазона появляется у эмбрионов на более ранних стадиях его развития, чем циркадианная [Бреус и др., 1995; Halberg et al., 2004], и изменяется при действии низкоинтенсивных факторов.

Ослабление фонового электромагнитного поля (ЭМП) достигалось применением экранирующей камеры размером 2×3×2 м, изготовленной из двухслойного железа «Динамо», т.е. ферромагнитным экранированием. Устройство и экранирующие свойства камеры описаны нами ранее [Темур'янц и др., 2010а, 2013].

Освещенность измерялась с помощью люксметра ТКЛ-ПКМ (модель 63). Внутри флаконов и террариумов освещенность колебалась от 0.1 до 0.2 лк, внутри экранирующей камеры и в лаборатории, где содержались животные контрольной группы, была такого же уровня, а в лаборатории, в которой проводили тестирование, изменялась от 480 до 500 лк.

Изучали действие магнитного поля гармонического колебания с частотой 8 Гц и индукцией 50 нТл. Величину магнитной индукции выбирали с таким расчетом, чтобы она была значительно выше интенсивности естественного ПеМП на данной частоте. Это позволило уменьшить эффекты неконтролируемых электромагнитных воздействий, а вследствие широкого «амплитудного окна» на этой частоте [Adey, 1980; Макеев, Темурьянц, 1982] распространить сделанные выводы на достаточно широкий диапазон интенсивностей ПеМП.

ПеМП создавалось кольцами Гельмгольца диаметром 1 м и неравномерностью поля в зоне расположения животных менее 5 %. Источником сверхнизкочастотного тока синусоидальной формы служил генератор ГРМ-3. Контроль за протеканием тока через кольца осуществлялся непрерывно с помощью миллиамперметра М2020 и осциллографа Н-303. Оценка всех составляющих погрешностей амплитуды позволила поддерживать амплитуду и частоту ПеМП с точностью не ниже 3.5 % их номинального значения.

Для исследований использовались две установки генерации ПеМП крайне низкой частоты (КНЧ). Одна из них помещалась в центре экранирующей камеры для воздействия на животных, находящихся в экранируемом пространстве, другая находилась в лаборатории и использовалась для воздействия ПеМП на контрольных животных.

В ходе проведения исследований животных обоих таксонов делили на четыре равноценные группы по 20 особей в каждой. Первая группа содержалась в обычных условиях лаборатории (контрольные животные), вторая – в экранирующей камере по 22 ч в сутки в течение 18 (планарии) и 21 (моллюски) дней, животные третьей группы по 3 ч в день подвергались воздействию ПеМП вне камеры. Четвертую группу (ПеМП+ФМЭ) составили животные, которые находились в экранирующем объеме по 22 ч в сутки и внутри камеры дополнительно ежедневно подвергались трехчасовому воздействию ПеМП КНЧ.

Животных групп II и IV для регистрации исследуемых параметров извлекали из камеры на 2 ч – с 11.00 до 13.00 ч. У особей групп I и III измерения проводились с 9.00 до 11.00 ч. Таким образом, животные всех групп находились в условиях свет : темнота – 2 : 22 ч. Измерения исследуемых показателей осуществлялись с соблюдением принципов двойного слепого эксперимента. Эксперименты проводились в трехкратной повторности.

Для статистической обработки данных использовали пакет специализированных программ «MedStat». Математическую обработку коротких временных рядов физиологических данных проводили методом спектрального Фурье-анализа с дальнейшей статистической обработкой с применением косинор-анализа [Емельянов, 1979; Мартынюк, Темурьянц, 2008], основанного на модели временного ряда как аддитивной смеси полезного сигнала и шума, где сигнал имеет форму косинусоиды с определенными параметрами. Для животных каждой группы были получены данные, характеризующие точность вписывания для каждого из периодов в диапазоне от 2.2 до 8 сут с шагом 0.2 сут. Вначале методом наименьших квадратов вычисляются значения амплитуды для каждой индивидуальной хронограммы, а затем для исследуемой выборки животных находят средние значения спектральных параметров и ошибки их средних. Для оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали *t*-критерий Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ временной динамики исследованных показателей выявил наличие ритмической составляющей в их изменениях. Спектральное преобразование Фурье и косинор-анализ СД интактных планарий и параметров ноцицепции интактных моллюсков выявили набор инфрадианных ритмов, включающий следующие периоды: $\approx 2^d.3$ (2.2–2.4); $\approx 3^d.3$ (3.5–3.8); $\approx 4^d.5$ (4.4–4.6); $\approx 6^d.4$ (5.5–6.4) и $\approx 8^d$ (7.1–8.5) (рис. 1).

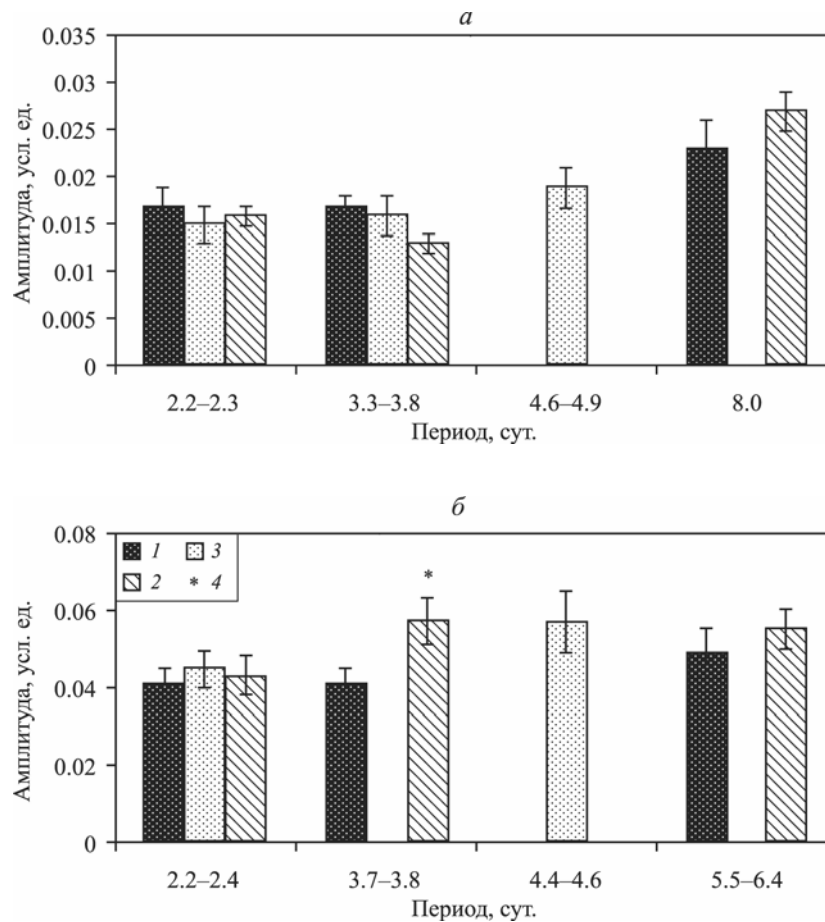


Рис. 1. Спектры инфрадианной ритмики скорости движения нерегенерирующих планарий (а) и латентного периода реакции избегания термического стимула моллюсками (б) контрольной группы (1) и животных, подвергнутых изолированному (2) и комбинированному с ПеМП КНЧ (3) действию ФМЭ

4 – уровень статистически значимых различий между значениями амплитуд выделенных ритмов у контрольных животных и животных контрольных групп при различных воздействиях ($p < 0.05$)

Установленные в настоящем исследовании ритмы обнаружены в деятельности различных биологических систем на всех уровнях организации [Шабатура, 1989; Чиркова и др., 1990; Strigun et al., 1991; и др.]. В последние годы ИР физиологических систем у различных животных подробно описана М.Е. Диатроптовым [Диатроптов и др., 2012; Диатроптов, 2013]. Нами обнаружено, что спектры ИР физиологических показателей в различные сезоны года несколько различаются. Это проявляется в количестве выявляемых периодов, их продолжительности, амплитудно-фазовых сдвигах. Разным сезонам года присуще неодинаковое число периодов. Наиболее стабильными ритмами, вы-

являющимися в спектрах ИР исследованных показателей во все сезоны года, как у планарий, так у моллюсков являются ритмы с периодами $\approx 2^d.3$; $\approx 3^d.7$, наименее стабильны ритмы с периодом $\approx 6^d.4$ (он встречается чаще у планарий, чем у моллюсков). Максимальные значения амплитуд зарегистрированы летом, минимальные – зимой.

Отмеченные особенности отображают сложные взаимодействия ИР с ритмами другой продолжительности, что приводит к систематическим изменениям фаз, амплитуд и других параметров ритмов. Так, С.Г. Дуда с соавт. [1981] обнаружил смещение акрофаз циркадианного ритма ряда гемодинамических показателей в весенне-летний период на 1–3 ч вправо по шкале времени. Циркадианная система взаимодействует и с многолетними циклами. По данным Л.И. Виноградовой [1976], акрофаза циркадианного ритма частоты сердечных сокращений регистрировалась с 15 до 18 ч, а минимальные значения приходились на 9–12 ч. По данным других авторов, выполнявших исследования в 1980-х годах, минимальные значения частоты сердечных сокращений регистрируются в ночные часы, а акрофаза – в 13–14 ч. Видимо, подобные взаимоотношения существуют между сезонными и инфрадианными ритмами.

Анализ результатов выполненных нами исследований инфрадианной периодичности СД планарий и параметров ноцицепции моллюсков, находившихся длительное время в условиях ФМЭ, выявил ее существенные изменения, выражающиеся в развитии десинхроноза. Десинхроноз развивался абсолютно у всех животных, однако степень его проявления варьировала. Как правило, у моллюсков имело место уменьшение числа выявляемых периодов (см. рис. 1, б). Пребывание нерегенерирующих планарий в условиях умеренного ФМЭ приводило к изменению структуры спектра: появился период $4^d.8$ вместо регистрируемого у животных контрольной группы периода $8^d.5$. Но в наиболее коротких выявленных периодах всегда регистрировался выраженный сдвиг фаз. Например, в периоде $2^d.3$ имел место сдвиг фаз на 262.6° ($p < 0.01$), а в периоде $\approx 3^d.8$ – на 54° ($p < 0.05$) (рис. 2). Таким образом, в условиях умеренного ФМЭ у моллюсков и планарий нарушается ИР физиологических процессов, так же как у позвоночных животных и человека.

Как показали проведенные исследования, изменения биоритмов инфрадианного диапазона у беспозвоночных вызывает и воздействие на животных ПеМП частотой 8 Гц индукцией 50 нТл. Состав спектров СД планарий и параметров ноцицепции моллюсков, подвергнутых действию ПеМП КНЧ, не отличался от такового интактных животных, однако в большинстве выделенных периодов зафиксирован значительный сдвиг фаз относительно данных контрольной группы ($p < 0.01$) (см. рис. 2). Такие же изменения зарегистрированы при изучении влияния ПеМП КНЧ на временную организацию позвоночных животных [Темурьянц *et al.*, 2004; Мартынюк *и др.*, 2006].

При воздействии ПеМП частотой 8 Гц на животных, находящихся в условиях ФМЭ, не выявлено различий в ИР исследованных показателей как у нерегенерирующих планарий, так и у моллюсков. Составы спектров ИР исследуемых показателей были одинаковы с таковым у контрольных животных, зафиксирована лишь тенденция к увеличению амплитуды 8-суточного периода у планарий и периода продолжительностью $\approx 3^d.8$ сут у моллюсков. В то же время эти спектры существенно отличались от таковых животных, находящихся в условиях ФМЭ (см. рис. 1). Таким образом, можно заключить, что крайне-низкочастотное ПеМП предупреждает развития десинхроноза при ФМЭ.

Как показали проведенные нами ранее по такой же схеме исследования [Туманянц *и др.*, 2015], низкоинтенсивные электромагнитные излучения крайне высокой частоты (42.2 ГГц, плотность потока мощности 10 мВ/см^2) модифицировали проявления развивающегося в экране десинхроноза, но не устранили его развитие. Как известно,

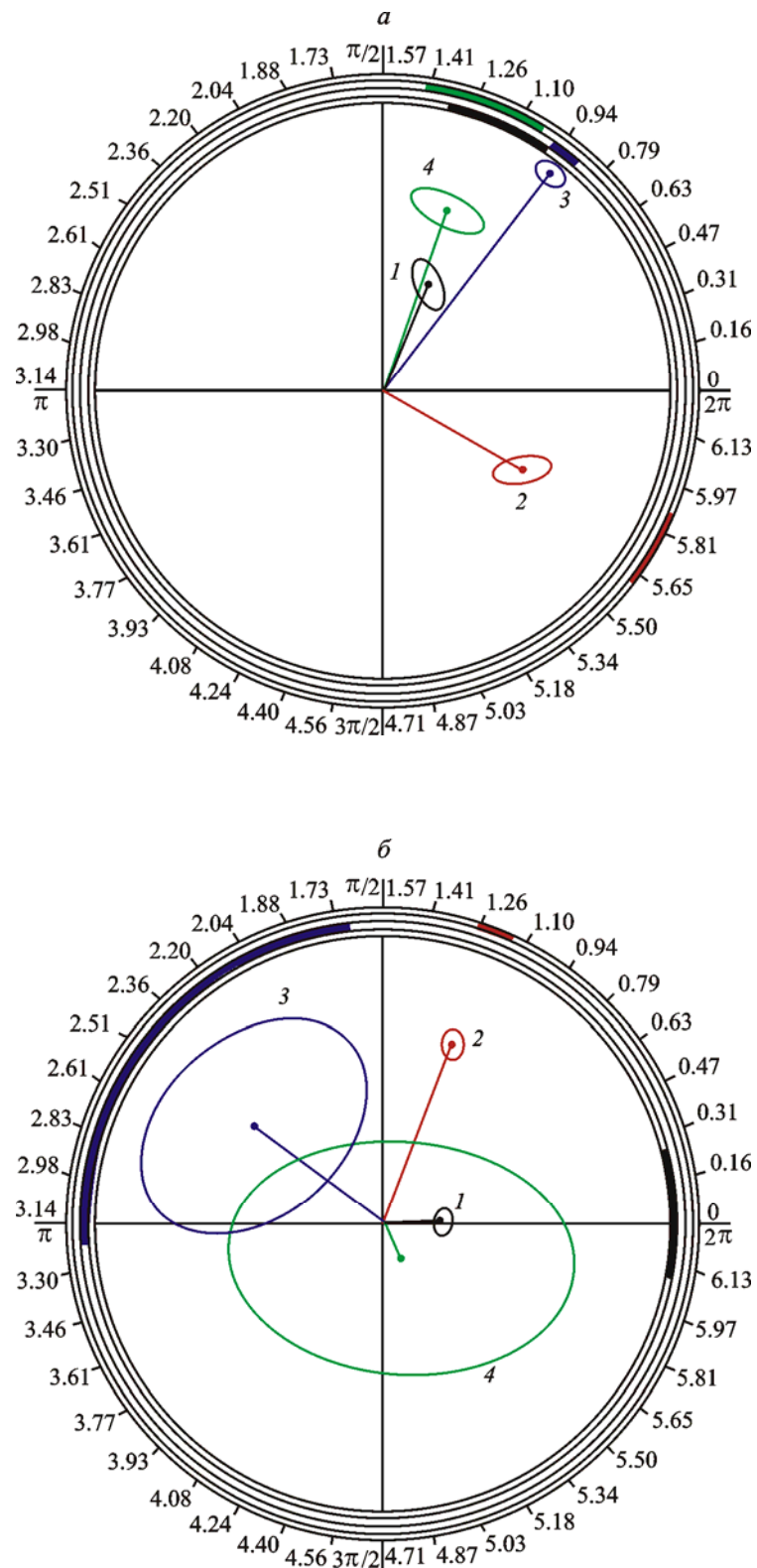


Рис. 2. Косинорограммы периодов $\approx 2^d.3$ (а) и $\approx 3^d.8$ (б) СД нерегенерирующих планарий контрольной группы (1), животных, находящихся в условиях ФМЭ (2), подвергнутых изолированному (3) и комбинированному с ФМЭ (4) действию ПемП КНЧ

электромагнитное излучение этого диапазона также имеет важное геофизическое значение, так как оно зарегистрировано в ионосфере и верхней атмосфере Земли, а его интенсивность коррелирует с геомагнитными бурями [Авакян, 2005]. Показана также высокая биологическая активность электромагнитных излучений этих параметров [Десятков, 1991; Чуян и др., 2003; Бецкий и др., 2004]. Однако предупреждать развитие экранообусловленного десинхроноза могут лишь ПемП крайненизкочастотного диапазона, что еще раз подчеркивает их биологическую значимость [Темурьянц и др., 1992а, б].

В проведенных авторами настоящей статьи исследованиях получены убедительные доказательства способности ПемП частотой 8 Гц предупреждать развитие экранообусловленного десинхроноза. Эти данные еще раз свидетельствуют о важной роли ПемП КНЧ в биосфере и могут быть использованы для хронотерапевтической коррекции, подразумевающей стабилизацию ритмичности физиологических процессов.

Благодарности

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания № 2015/701 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Обоснование применения оздоровительно-превентивных технологий на основе действия низкоинтенсивных факторов различной природы».

Литература

- Авакян С.В. Микроволновое излучение ионосферы как фактор воздействия солнечных вспышек и геомагнитных бурь на биосистемы // Оптик. журн. 2005. Т. 72, № 8. С. 41–48.
- Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы. М.: URSS, 2004.
- Бородин Ю.И., Летягин А.Ю. Реакция циркадианных ритмов лимфоидной системы на глубокое экранирование от геомагнитного поля Земли // Бюл. экспер. биологии и медицины. 1990. № 2. С. 191–193.
- Бреус Т.К., Халберг Ф., Корнелиссен С.Ж. Влияние солнечной активности на физиологические ритмы биологических систем // Биофизика. 1995. Т. 40, № 4. С. 737–747.
- Виноградова Л.И. Циркадный ритм сердечно-сосудистой системы человека в норме и при нарушении деятельности центральных аппаратов вегетативного регулирования: Автореф. ... дис. канд. мед. наук. М., 1976.
- Десятков Н.Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь, 1991.
- Демцун Н.А., Туманянц К.Н., Темурьянц Н.А. Влияние низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на регенерирующих планарий *Dugesia tigrina* // Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. Биология, химия. 2009. Т. 22 (61), № 2. С. 33–39.
- Денисенкова И.В., Пискунова Г.М., Чемерис Н.К. Стимулированная локомоторная активность планарии *Dugesia tigrina* в естественном магнитном поле и при его компенсации // Вестник новых медицинских технологий. 1997. Т. 4, № 4. С. 16–18.
- Диатроптов М.Е. Закономерности инфрадианных ритмов смены оперения и уровня тироксина у воробьиных птиц. Влияние продолжительности светового дня // Наука и технологические разработки. 2013. Т. 92, № 4. С. 31–48.

- Диатроптов М.Е., Кондашевская М.В., Макарова О.В. Инфранианная ритмика показателей физиологических и метаболических процессов у самцов крыс Вистар // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2012. № 3. С. 410–416.
- Дуда С.Г., Заславская Р.М., Кононова А.Ф. К вопросу о хронотерапии больных стенокардией и кардиологией // Всесоюз. конф. «Актуальные проблемы оценки фармакологической активности химических соединений»: Тез. докл. 1981. Т. 1. С. 121–123.
- Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS № 123). Заключена в г. Страсбург 18 марта 1986 г. URL: base.garant.ru/4090914
- Емельянов И.П. Формы колебания в биоритмологии. Новосибирск: Наука, 1976.
- Замощина Т.А., Кривова Н.А., Ходанович М.Ю., Труханов К.А., Тухватулин Р.Т., Заева О.Б., Зеленская А.Е., Гуль Е.В. Влияние моделируемых гипомагнитных условий дальнего космического полета на ритмическую организацию поведенческой активности крыс // Авиакосм. и экол. медицина. 2012. Т. 46, № 1. С. 17–23.
- Комаров Ф.И., Бреус Т.К., Рапопорт С.И. Медико-биологические эффекты солнечной активности // Вестн. Академии мед. наук. 1994. Т. 9, № 11. С. 37–50.
- Макеев В.Б., Темуриянц Н.А. Исследование частотной зависимости биологической эффективности магнитного поля в диапазоне геомагнитного поля (0.01–100 Гц) // Пробл. космич. биологии. 1982. Т. 43. С. 116–128.
- Мартынюк В.С., Темуриянц Н.А. Магнитные поля крайне низкой частоты как фактор модуляции и синхронизации инфранианной ритмики у животных // Геофизические процессы и биосфера. 2008. Т. 7, № 1. С. 36–50.
- Мартынюк В.С., Владимирский Б.М., Темуриянц Н.А. Биологические ритмы и электромагнитные поля среды обитания // Геофизические процессы и биосфера. 2006. Т. 5, № 1. С. 5–23.
- Рапопорт С.И., Малиновская Н.К., Ораевский В.Н. Влияние колебаний естественного магнитного поля Земли на продукцию мелатонина у больных ишемической болезнью сердца // Клин. медицина. 1997. № 6. С. 24–26.
- Темуриянц Н.А., Демцун Н.А. Сезонные различия регенерации планарий в условиях многодневного электромагнитного экранирования // Биофизика. 2010. Т. 55, № 4. С. 710–714.
- Темуриянц Н.А., Костюк А.С. Роль опиоидной системы на разных этапах модификации экранообусловленных изменений ноцицепции наземных моллюсков слабым ПемП СНЧ // Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. Биология, химия. 2012. Т. 25, № 1. С. 203–213.
- Темуриянц Н.А., Костюк А.С. Воздействие переменного магнитного поля крайне низкой частоты на активность опиоидной системы моллюсков, находящихся в условиях длительного электромагнитного экранирования // Геофизические процессы и биосфера. 2015. Т. 14, № 1. С. 42–52.
- Темуриянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. Киев: Наук. думка, 1992а.
- Темуриянц Н.А., Макеев В.Б., Малыгина В.И. Влияние слабых переменных магнитных полей крайне низких частот на инфранианную ритмику симпато-адреналовой системы крыс // Биофизика. 1992б. Т. 37, № 4. С. 653–655.
- Темур'янц Н.А., Баранова М.М., Демцун Н.О. Патент України № 48095 // Бюл. № 5. 2010а.
- Темур'янц Н.А., Вишневський В.Г., Костюк О.С., Макеев В.Б. Патент України № 48094 // Бюл. № 5. 2010б.
- Темуриянц Н.А., Костюк А.С., Туманянц К.Н. Динамика и инфранианная ритмика температурной/болевой чувствительности моллюсков *Helix albescens* в условиях воздействия электромагнитных полей // Нейрофизиология. 2010. Т.42, № 4. С. 329–339.

- Темурьянц Н.А., Костюк А.С., Туманянц К.Н. Участие мелатонина в изменении ноцицепции моллюсков и мышей при длительном электромагнитном экранировании // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2013. Т. 99, № 11. С. 1333–1341.
- Тирас Х.П., Сребницкая Л.К., Ильясова Е.Н., Леднев В.В. Влияние слабого комбинированного магнитного поля на скорость регенерации планарий *Dugesia tigrina* // Биофизика. 1996. Т. 41, № 4. С. 826–831.
- Туманянц К.Н., Чуян Е.Н., Костюк А.С., Туманянц Е.Н. Влияние низкоинтенсивных электромагнитных излучений крайне высокой частоты на инфрадианную ритмику ноцицепции моллюсков *H. albescens* при их электромагнитном экранировании // VII Междунар. науч.-практ. конф. «Фундаментальная наука и технологии – перспективные разработки». North Charleston, USA, 2015. Т. 1. С. 8–13.
- Чибисов С.М., Овчинникова Л.К., Бреус Т.К. Биологические ритмы сердца и «внешний» стресс. М.: РУДН, 1998.
- Чиркова Э.Н., Сулов Л.С., Авраменко М.М., Криворучко Г.Е. Месячные и суточные биоритмы амилазы сыворотки крови здоровых мужчин и их связь с ритмами внешней среды // Лабораторное дело. 1990. № 4. С. 40–44.
- Чуян Е.Н., Темурьянц Н.А., Московчук О.Б., Чирский Н.В., Верко Н.П., Туманянц Е.Н., Пономарева В.П. Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ. Симферополь: ЧП «Эльиньо», 2003.
- Шабатура Н.Н. Механизм происхождения инфрадианных биологических ритмов // Успехи физиол. наук. 1989. Т. 20, № 3. С. 83–103.
- Шмидт-Нюельсен К. Физиология животных: приспособление и среда. М.: Мир, 1982.
- Adey W.R. Frequency and power window in tissue interactions with weak electromagnetic fields // Proc. IEEE. 1980. V. 68 (1). P. 119.
- Halberg F., Cornélissen G., Regal P., Otsuka K., Wang Z., Katinas G. S., Siegelova J., Homolka P., Prikryl P., Chibisov S.M., Holley D.C., Wendt H.W., Bingham C., Palm S.L., Sonkowsky R.P., Sothorn R.B. Chronoastrobiology: Proposal, nine conferences, heliogeomagnetics, transyears, near-weeks, near-decades, phylogenetic and ontogenetic memories // Biomedicine & Pharmacotherapy. 2004. V. 58. P. 150–187.
- Jenrow K.A., Smith C.H., Liboff A.R. Weak extremely low frequency magnetic fields and regeneration in the planarian *Dugesia tigrina* // Bioelectromagnetics. 1995. V. 16. P. 106–112.
- Mulligan B.P., Gang N., Parker G.H., Persinger M.A. Magnetic field intensity/melatonin-molarity interactions: Experimental support with planarian (*Dugesia sp.*) activity for a resonance-like process // Open J. of Biophysics. 2012. N 2. P. 137–143.
- Prato F.S., Kavaliers M., Carson J.J.L. Behavioural evidence that magnetic field effects in the land snail, *Cepaea nemoralis*, might not depend on magnetite or induced electric currents // Bioelectromagnetics. 1996. V. 17. P. 123–130.
- Prato F.S. Non-thermal extremely low frequency magnetic field effects on opioid related behaviors: Snails to humans, mechanisms to therapy // Bioelectromagnetics. 2015. V. 36(5). P. 333–348.
- Strigun L., Chirkova E., Grigoreva G., Gromova L.A., Yakunina M.A., Nemov V.V., Ivanova A.N. Chronobiological analysis of peripheral lymphocyte dehydrogenase activities in rats with Walker 256 carcinosarcoma // Anti-Cancer Drugs. 1991. N 2. P. 305–310.
- Temuryants N.A., Martynyuk V.S., Chuyan E.N., Minko V.A., Brusil I.A. Changes in the infradian rhythmicity of blood lymphocyte dehydrogenases in rats exposed to an extremely low frequency variable magnetic field // Biophysics. 2004. V. 49, N 1. P. 26–31.
- Wang P.L., Wang X.S., Xiao R., He R.Q. Tubulin assembly is disordered in a hypogeomagnetic field // Biochem. Biophys. Res. Com. 2008. V. 376, N 2. P. 363–368.

Wever R.A. Human circadian rhythms under the influence of weak electric fields and the different aspects of these studies // Int. J. Biometeorol. 1973. V. 17, N 3. P. 227–232.

Сведения об авторах

ТЕМУРЬЯНЦ Наталья Арменаковна – доктор биологических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Россия, Республика Крым, 295007, г. Симферополь, просп. Акад. Вернадского, д. 4. Тел.: +7 (3652) 608-605. E-mail: timur328@gmail.com

TEMURYANTS Natalia A. – dr. of biol. sci., professor, Vernadsky Crimean Federal University. Simferopol, Republic of Crimea, Russia. Tel.: +7 (3652) 608-605. E-mail: timur328@gmail.com

ТУМАНЯНЦ Каринэ Николаевна – кандидат биологических наук, директор Научно-исследовательского центра экспериментальной физиологии и биотехнологий, Таврическая академия, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского; доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Республика Крым, Россия, 295007, г. Симферополь, просп. Акад. Вернадского, д. 4. Тел.: +7 (3652) 608-605. E-mail: tumanyantsk@gmail.com

TUMANYANTS Karine N. – cand. of biol. sci., director of Scientific Research Center of Experimental Physiology and Biotechnology, Taurida Academy, Vernadsky Crimean Federal University; associated professor, Vernadsky Crimean Federal University. Simferopol, Republic of Crimea, Russia. Tel.: +7 (3652) 608-605. E-mail: tumanyantsk@gmail.com

КОСТЮК Александра Сергеевна – кандидат биологических наук, ассистент, Образовательно-научный центр «Институт биологии», Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко. Украина, 01601, г. Киев, ул. Владимирская, д. 64/13. E-mail: timur328@gmail.com

KOSTYUK Aleksandra S. – cand. of biol. sci., associated professor, Educational and Scientific Center «Institute of Biology», Taras Shevchenko National University of Kyiv. Kyiv, Ukraine. E-mail: timur328@gmail.com

ЯРМОЛЮК Наталья Сергеевна – кандидат биологических наук, доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Республика Крым, Россия, 295007, г. Симферополь, просп. Акад. Вернадского, д. 4. Тел.: +7 (3652) 608-605. E-mail: timur328@gmail.com

YARMOLYUK Natalia S. – cand. of biol. sci., associated professor, Vernadsky Crimean Federal University. Simferopol, Republic of Crimea, Russia. Tel.: +7 (3652) 608-605. E-mail: timur328@gmail.com.

ТУМАНЯНЦ Елена Николаевна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский центр экспериментальной физиологии и биотехнологий, Таврическая академия, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского; доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Республика Крым, Россия, 295007, г. Симферополь, просп. Акад. Вернадского, д. 4. Тел.: +7 (9787) 704-849. E-mail: timur328@gmail.com

TUMANYANTS Elena N. – cand. of med. sci., senior researcher, Scientific Research Center of Experimental Physiology and Biotechnology, Taurida Academy, Vernadsky Crimean Federal University; associated professor, Vernadsky Crimean Federal University. Simferopol, Republic of Crimea, Russia. Tel.: +7 (9787) 704-849. E-mail: timur328@gmail.com

PREVENTION OF SHIELD-INDUCED DESYNCHRONOSIS IN INVERTEBRATES BY VARIABLE MAGNETIC FIELD OF EXTREMELY LOW FREQUENCY

N.A. Temuryants¹, K.N. Tumanyants^{1,2}, A.S. Kostyuk³, N.S. Yarmolyuk¹,
E.N. Tumanyants^{1,2}

¹ Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea, Russia

² Scientific Research Center of Experimental Physiology and Biotechnology, Taurida Academy,
Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea, Russia

³ Educational and Scientific Center «Institute of Biology», Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Kyiv, Ukraine

Abstract. It was found that under conditions of moderate ferromagnetic shielding, at which the variable and constant components of the geomagnetic field are weakened, desynchronosis is developed in planarians *Dugesia tigrina* and snails *Helix albescens*. The desynchronosis is diagnosed by changes in the infradian rhythms of the movement speed of the planarians and the nociception parameters of the snails. The changes are as following: decrease in the number of revealed periods or their changes, phase shifts, especially pronounced in the shortest periods. Under the additional effect on animals under shielding conditions of an alternating magnetic field of 8 Hz frequency by induction of 50 nT, the change in the rhythmic processes of the infradian range in invertebrates is not detected. The conclusion is made that the variable magnetic field of 8 Hz frequency prevents the development of shield-induced desynchronosis.

Keywords: ferromagnetic shielding, variable magnetic field frequency of 8 Hz, prevention of desynchronosis, infradian rhythm, speed of movement, nociception, planarians, snails.