Влияние широкополосного импульсно-модулированного ЭМИ СВЧ низкой интенсивности на крыс Вистар с высокой организацией адаптивного поведения

Павлова Л.Н., Дубовик Б.В.[1], Жаворонков Л.П., Лушникова Г.А.

МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, Обнинск;
[1] Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Белоруссия

Настоящее исследование проведено с целью оценки влияния хронического воздействия низкоинтенсивного электромагнитного излучения сверхвысокой частоты (ЭМИ СВЧ) на рабочих местах, связанных с операторской деятельностью, требующей высокой организации адаптивного поведения. В опытах на крысах Вистар, предварительно обученных выполнению оперантного теста в камере Сидмана с эффективностью «работы» 80-99%, исследовалось влияние хронического воздействия поличастотного низкоинтенсивного ЭМИ в диапазоне несущих частот от 0,475 до 9,8 ГГц при различных сочетаниях энергетических и модуляционных параметров электромагнитного поля (ЭМП). Животных на протяжении 3–4 месяцев подвергали облучению ЭМИ СВЧ в разных режимах с периодичностью 1 сеанс в 3–5 дней. Режимы облучения варьировали по числу несущих частот в указанном диапазоне, мощности в импульсе (300, 600 мкВт/см^2, τ – 25 мс), характеру изменения частоты посылок импульсов (3→1, 6→1 Гц), экспозиции воздействия, по наличию и продолжительности пауз (непрерывное или циклическое облучение). Истинные сеансы облучения чередовались с ложными. Показано, что хорошо обученные оперантному тесту крысы достаточно резистентны к модулирующему хроническому воздействию ЭМИ СВЧ. Однако при тестировании после 3-недельного перерыва подвергнутые воздействию ЭМИ животные значительно отставали по эффективности выполнения теста по сравнению с крысами контрольной группы. Кроме того, весьма вероятны тонкие нарушения в характере «работы» обученных крыс. С помощью метода двухфакторного дисперсионного анализа результатов исследования паттерна «операторской работы» животных в натурных условиях выявлен психодепрессивный эффект краткосрочного импульсного ЭМИ в диапазоне СВЧ 9,8 ГГц со средней мощностью 30 мкВт/см^2, проявляющийся торможением фазы врабатывания при выполнении оперантного теста Сидмана.

Ключевые слова: *крысы Вистар, психофизиологические функции, высокоорганизованное поведение, предварительное обучение, широкополосное электромагнитное воздействие, нетепловая интенсивность, импульсная модуляция, СВЧ-диапазон, оперантный тест, камера Сидмана, фаза врабатывания.*

Введение

Известно, что одной из ведущих физиологических стресс-систем организма, обеспечивающих развитие общего адаптационного синдрома, является центральная нервная система (ЦНС). Именно ей отводится главная роль и в ответе организма животных и человека на электромагнитные поля (ЭМП) нетепловой интенсивности [1–4]. К настоящему времени в отечественной и зарубежной литературе всё чаще встречаются работы, посвящённые изучению влияния ЭМ полей на ЦНС в связи с возросшей актуальностью этой проблемы. Особое место в последние годы придаётся оценке влияния на организм ЭМИ мобильной/сотовой связи. Так, Семенова Т.И. и др. [5] в опытах на крысах при облучении ЭМИ в диапазоне интенсивностей, используемых в быту и мобильной связи, при определённых модулирующих частотах наблюдали снижение уровня тревожности. Нами в опытах на крысах выявлено анксиолитическое действие низкоинтенсивного ЭМИ, проявляющееся снижением фобии к аверсивному раздражению [6]. Отклонения со стороны ЦНС при использовании мобильных телефонов (снижение показателей

Павлова Л.Н.* – вед. научн. сотр., к.м.н.; **Жаворонков Л.П.** – зам. директора по научн. работе, д.м.н.; **Лушникова Г.А.** – научн. сотруд., к.м.н. МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России. **Дубовик Б.В.** – зав кафедрой фармакологии, д.м.н. БГМУ.
*Контакты: 249036, Калужская обл., Обнинск, ул. Королева, 4. Тел.: 8 (484) 399-71-38; e-mail: pavlova.ln@inbox.ru.

работоспособности в динамике, произвольного внимания и смысловой памяти, повышение уровня утомления) было зарегистрировано в группе детей-пользователей, хотя показатели и не выходили за пределы нижних границ возрастной нормы [7]. Воздействие электромагнитного поля сотового телефона вызывало у студентов-добровольцев изменение содержания гормонов (кортикостероидов и гистамина) в слюне, участвующих в процессах адаптации, что заметно сказывалось на показателе внимания [8].

Результаты проведённого нами ранее комплексного исследования [3], посвящённого изучению нейротропных эффектов низкоинтенсивного ЭМИ (плотность потока энергии (ППЭ) – ниже 1 мВт/см^2) на поведение животных (мыши, крысы) и реактивность к наркотическим веществам показали, что кратковременное моночастотное воздействие в диапазоне несущих частот от 0,1 до 8,0 ГГц с импульсной модуляцией в полосе частот периодической нейронной активности головного мозга (ЭЭГ) оказывает достоверный нейротропный эффект, сохраняющийся, по меньшей мере, в течение 10 минут после облучения. Эти реакции транзиторны, выражены нерезко и обнаруживаются на пороге разрешающей способности использованных параметрических и непараметрических методов анализа.

Для оценки воздействия на ЦНС низкоинтенсивного ЭМИ в условиях реально существующего, согласно терминологии ВОЗ, «глобального электромагнитного загрязнения окружающей среды» нами изучались реакции ЦНС при поличастотных режимах облучения (от 0,1 до 6,0 ГГц), модулированных посылками импульсов диапазона частот ЭЭГ [9, 10]. Все исследования проводились с использованием широкого спектра несущих частот, включающих диапазон радиочастот мобильной связи (450–2700 МГц). При этом выявлено негативное влияние на возбудимость ЦНС и когнитивные функции мозга крыс. Следует отметить, что установленные эффекты были также транзиторны и при испытаниях через 15-30 суток не выявлялись. Психодепрессивный эффект усиливался с увеличением числа несущих излучателей и расширением спектра излучения, что подтверждает теоретические предпосылки [11, 12] о вовлечении более широкого круга потенциальных осцилляторов мозга, резонансно реагирующих на данный фактор. Однако следует отметить, что прямой зависимости эффекта от числа воздействующих излучателей не выявлено. Так, в наших экспериментах показано, что негативный эффект воздействия ЭМ полей, равных по числу несущих, при усложнении программы выработки рефлекса был значительно существеннее. Подобный эффект мы наблюдали и при изучении влияния моночастотных низкоинтенсивных ЭМИ на поведение крыс в усложненном (обогащённом) лабиринте [3]. То есть в определённых условиях, требующих предельной концентрации внимания, памяти, особого напряжения аналитических функций мозга, у особей, впервые оказавшихся в стрессовой ситуации, негативное действие ЭМП может проявляться сильнее. Поэтому для проявления негативного нейротропного эффекта ЭМП немаловажным фактором, по нашему представлению, является исходное физиологическое состояние организма, обусловленное степенью эмоциональной и психофизиологической готовности к стрессовым внешним воздействиям, что определяет в целом высокую или низкую организованность адаптивного поведения. О зависимости реакции ЦНС на микроволновое воздействие от её функционального состояния свидетельствуют немногочисленные исследования, в основном заключающиеся в том, что при слабой функциональной деятельности мозга ЭМ поле как раздражитель становится сильнее [4].

С этих позиций представляет интерес выяснение эффекта воздействия ЭМИ СВЧ на организм в зависимости от уровня организации его высшей нервной деятельности, а именно, ус-

тойчивости выработанных навыков, степени уравновешенности и скорости процессов возбуждения и торможения, когнитивных функций.

В предыдущих опытах влияние фактора изучалось на животных, впервые оказавшихся в стрессовой ситуации при однократном кратковременном его применении. Задачей настоящего исследования явилось изучение хронического влияния поличастотного низкоинтенсивного ЭМИ на поведение животных с высокоорганизованными адаптационными механизмами, выработанными в процессе предварительной тренировки – обучения. Подобные исследования особенно важны при оценке деятельности операторского типа с целью определения санитарно-гигиенических норм на рабочих местах.

Материалы и методика

Адекватной экспериментальной моделью операторской деятельности, по мнению специалистов в области психофизиологии и эргономии, является достаточно стандартный, но информативный оперантный тест на крысах в камере Сидмана. Для проведения данного психофизиологического теста животное помещается в замкнутое затемнённое пространство с электродным полом в виде металлических прутьев, на который каждые 5 секунд подаётся электрический ток, силой в 1,5 А. Крыса избавляется от ударов током, периодически нажимая на педаль. В этом случае ей предоставляется отсрочка в течение 20 с, по истечении которой удары током повторяются с прежней частотой. Таким образом, для избегания удара током крыса должна нажимать на рычаг не реже 1 раза в 20 с на протяжении достаточно длительного и напряженного сеанса (обычно до 60 мин). Следовательно, для успешного выполнения теста крысе необходимо контролировать время, сохранять активное внимание, эмоциональную устойчивость, память. Эффективно «работающей» считается крыса, которая меньшим числом нажатий предотвращает запрограммированные удары электрического тока. Оценка оперантной деятельности крыс осуществлялась на основании следующих критериев: автоматически регистрируемого числа нажатий на педаль, количества пропущенных ударов током и гистограмм временных интервалов между нажатиями за одночасовую сессию «работы» в камере. По полученным данным рассчитывали коэффициент эффективности (обученности) оперантной деятельности – процент пропущенных (или предотвращённых) ударов током от общего числа возможных ударов. Тест позволяет оценивать устойчивость к любому воздействию прочно закреплённых поведенческих навыков сложного уровня организации, сравнимых в экстраполяционном аспекте с исполнительной деятельностью человека-оператора.

Опыты поставлены на крысах Вистар, предварительно хорошо обученных (в течение 2-3 месяцев) оперантному тесту. Коэффициент эффективности их оперантной работы к началу исследования составлял 80-99%, что соответствовало в среднем 50-60 ударам током из 720 возможных.

Обученных животных подвергали воздействию поличастотного низкоинтенсивного ЭМИ в диапазоне несущих частот от 0,475 до 9,8 ГГц при различных сочетаниях энергетических и модуляционных параметров ЭМП. Предполагая возможное усиление эффекта ЭМИ из-за известного в нейрофизиологии феномена навязывания ритма, применяли циклическое изменение частоты посылок импульсов (цикл составлял 30 или 60 с) в диапазоне ритмов ЭЭГ (3→1 или

6→1 Гц). Кроме того, режимы облучения варьировали по мощности в импульсе (300, 600 мкВт/см^2), экспозиции воздействия, а также по применению импульсного непрерывного или циклического облучения с разной длительностью циклов (облучение+пауза). Длительность импульса при всех режимах составляла 25 мс.

Основная часть опытов поставлена в лабораторных условиях. Облучение электромагнитными полями проводили на многочастотной установке, состоящей из 30 генераторов, сгруппированных в 3 блока по 10 несущих в каждом. Весь частотный диапазон спектра (1–8 ГГц), соответственно блокам, был разделён на 3 участка: 1–2, 2–4 и 4–8 ГГц, что позволяло формировать режимы облучения с различным количественным и качественным составом несущих.

Сеансы облучения крыс осуществляли в индивидуальных пластиковых решётчатых контейнерах в безэховой камере в зоне сформированной волны (2,1–3,0 м от рупоров) в изодозном поле (± 10%) при вертикальной ориентации Е-вектора. В камере строго соблюдались стандартные условия температуры (19–21 °С) и относительной влажности среды (55±5%). ППЭ в зоне облучения контролировали перед опытом по каждой несущей с помощью дозиметра П3-9.

Оперантный тест начинали через 5 минут после воздействия и проводили в течение одного часа. Как правило, через 1–2 суток испытания повторяли для оценки эффекта последействия. Результаты повторных испытаний являлись фоном для сравнения с последующим воздействием облучения. Периодически истинное облучение чередовали с ложным. При фоновых испытаниях через 2 суток после каждого сеанса облучения, как и при ложном облучении, животных помещали на 30 мин перед тестом в решётчатые контейнеры, экспозиции в безэховой камере при этом не проводили. Такая схема экспериментов позволяла оценить непосредственные и отсроченные эффекты облучения, а также возможный кумулятивный эффект ЭМИ.

Влияние ЭМИ СВЧ на оперантную деятельность крыс изучено в 3-х сериях экспериментов, каждой из которых, соответственно поставленной задаче, соответствовали свои условия и схема постановки опыта, что более подробно будет изложено в соответствующих разделах.

Результаты и обсуждение

Первая серия опытов проведена на 12 крысах, обученных навыку активного избегания периодических ударов током путём предварительных нажатий на педаль не менее 1 раза в 20 секунд. Животных последовательно подвергали воздействию ЭМИ СВЧ в диапазоне спектра несущих частот 0,475–4,0 ГГц (17 генераторов) при различных вариантах импульсной модуляции на протяжении трёх месяцев. Проведено 23 эксперимента с использованием следующих вариантов облучения:

– непрерывное с импульсной модуляцией 3→1 или 6→1 Гц при ППЭ в импульсе 300 и 600 мкВт/см^2 с экспозицией 30 минут (режимы 2, 4) и 100 минут (режим 10);

– циклическое воздействие при тех же параметрах ЭМИ, но с разной длительностью циклов:

а) длительность облучения и паузы по 1 минуте при общей экспозиции 30 минут (режимы 5, 6);

б) длительность облучения и паузы по 5 минут при общей экспозиции 30 (режим 7) и 100 минут (режим 9).

Сеансы облучения, как правило, чередовали с сеансами ложного воздействия в стандартных условиях (режим 0), а в некоторые сроки проводили несколько сеансов облучения подряд.

Результаты оценки оперантной деятельности крыс в условиях 3-месячного эксперимента представлены на диаграммах (рис. 1) по вышеозначенным критериям.

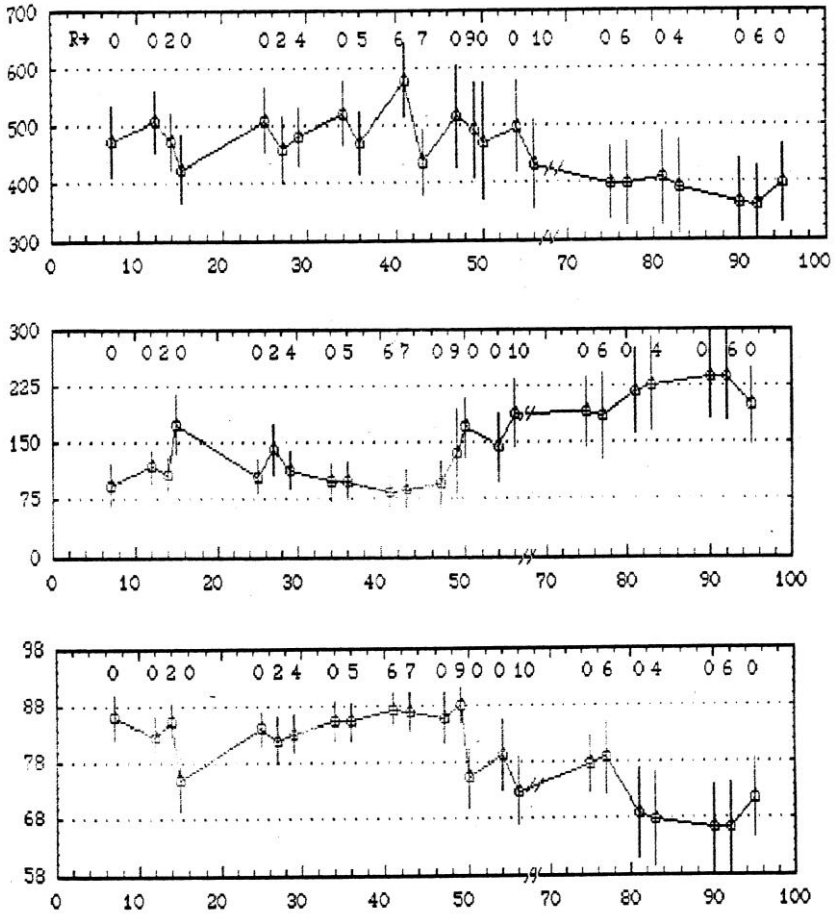


Рис. 1. Влияние многократного низкоинтенсивного ЭМИ СВЧ на оперантную деятельность крыс в камере Сидмана.

По оси абсцисс – сутки эксперимента; по оси ординат: на верхнем рисунке – число нажатий на педаль, средний рисунок – количество пропущенных ударов током, нижний рисунок – коэффициент обученности, %. Коды режимов облучения (R →) даны по верхней шкале рисунков; 0 – ложное облучение.

Как иллюстрируют приведённые диаграммы, оперантные функции крыс в течение длительного времени оставались стабильны после многократного облучения в режимах 2, 4, 5, 6. Однако, начиная с определённого срока, совпавшего с сеансами облучения в режимах 7 и 9, наблюдалось постепенное снижение эффективности выполнения теста, сопряжённое по всем трём параметрам: уменьшалось число предупредительных нажатий на педаль, параллельно возрастало количество пропущенных ударов, и вместе с этим снижался коэффициент эффективности. Указанные режимы отличались от предыдущих более продолжительными циклами облучения и пауз (режим 7) и более длительной экспозицией (режим 9). Анализ интервальных гистограмм частоты нажатий на педаль свидетельствует об ухудшении профиля «рассудочной»

работы крыс: уменьшение числа отсроченных нажатий на педаль, обеспечивающих наибольший интервал защиты от удара. Падение коэффициента, достигшего со временем 68%, свидетельствует о значительном ухудшении психофизиологического статуса животных и депрессии работоспособности. Примечательно, что длительный перерыв цикла облучений (на 20 дней – с 57-х до 77-х суток) не привёл к восстановлению работоспособности, а последующие облучения ещё более снизили эффективность оперантной деятельности животных.

Оценивая полученные результаты, можно предположить, что действие облучения при такой постановке эксперимента кумулируется и, в конечном счете, происходит срыв психофизиологической устойчивости животных, развивается астенический синдром, проявляющийся после более продолжительных сеансов или циклов воздействия (режимы 7, 9). Однако можно предположить о влиянии на эффективность работы крыс возрастного фактора в связи с длительностью эксперимента.

Вторая серия. С целью воспроизведения полученных результатов, а также оценки возможного влияния возрастного фактора, проведена вторая серия экспериментов на 3-х группах крыс-операторов (по 6 животных в группе) в течение 4-х месяцев.

В отличие от предыдущего опыта, в данной серии двум группам подопытных обученных животных соответствовала группа ложнооблучающихся крыс (контроль). Подопытных животных систематически подвергали сложномодулированному многочастотному воздействию ЭМИ СВЧ низкой интенсивности в интервале несущих частот 1 – 8 ГГц (n=27) один раз в 4-5 дней в различных режимах, отличающихся спектральным составом несущих и вариантами комбинаций амплитуды импульса (пиковой мощности: 100, 200, 1000 и 2000 мкВт/см^2). Облучение проводили разными участками спектра несущих частот (1 – 8 ГГц, 1-2 + 2-4 ГГц, 1-2 + 4-8 ГГц, 2-4 + 4-8 ГГц) при вариациях суммарной мощности в импульсе от 300 до 12000 мкВт/см^2. Обе подопытные группы подвергались воздействию ЭМП одних и тех же параметров, но различались по набору модулирующих частот: 3 → 1 Гц (группа 1) и 6→1 Гц (группа 2). Большинство исследований проведено при импульсном непрерывном 30-минутном облучении, использовали и циклический режим (10 циклов чередования 5-минутного облучения с паузами такой же длительности). Некоторые режимы применяли неоднократно. Контрольная группа подвергалась только ложному облучению в те же сроки и с той же периодичностью. Тестирование оперантной деятельности после воздействия проводилось дважды – через 5 минут и через 2 суток, гистограммы нажатий регистрировались в течение одного часа. Последнее тестирование служило фоном для последующего воздействия.

Анализ результатов показал, что оперантные функции крыс в данном эксперименте в течение длительного времени оставались стабильны. Не обнаружено систематических эффектов ЭМИ СВЧ на оперантную деятельность ни в одном из исследованных режимов, хотя в отдельных случаях отмечены нестойкие флюктуации состояния животных после облучения. Следует, однако, отметить, что 2-недельный отдых крыс (после 20 сеансов облучения), в течение которого не проводилось никаких испытаний, по-разному повлиял на состояние контрольных и подопытных животных. Первые из них после перерыва сохранили и даже улучшили показатели

эффективности, тогда как у облучённых крыс обеих групп эти показатели в первом испытании после отдыха даже ухудшились относительно предыдущего опыта.

В третьей серии опытов нами отслеживалась эффективность оперантного теста за каждые 15 минут часового тестирования с целью более детального изучения паттерна работы в камере. Опыты поставлены на 15 крысах, обученных навыкам активного избегания периодических ударов током в камере Сидмана по той же методике и разделённых на 3 однородные группы. Животные 2-х подопытных групп 3-кратно подвергались различным воздействиям ЭМИ с интервалом между экспозициями 5 дней. Облучение с экспозицией по 5 минут проводили в натурных условиях ЭМИ в диапазоне СВЧ – 9,8 ГГц в импульсных режимах (3 Гц, длительность импульсов 25 мс) при средних значениях ППЭ 30 мкВт/см^2 (1 группа) и 3 мкВт/см^2 (2 группа). Третья группа служила контролем (ложное облучение).

Испытания в камере Сидмана проводили через 1–1,5 часа, на следующий день и 3-и сутки после каждого воздействия.

В отличие от предыдущих исследований, оценка оперантной деятельности включала дополнительный показатель – коэффициент оптимальности оперантной деятельности (КОД) за каждые 15 минут 1-часового теста (интегральный показатель, отражающий эффективность и оптимальность паттерна работы в камере – доля полезных нажатий в % от общего числа нажатий на рычаг). Для оценки использовали дисперсионный метод двухфакторного плана – изменения показателей в зависимости от облучения (фактор 1) и от дня испытания после воздействий (фактор 2), а также, учитывая малое число животных в группах – метод непараметрического дисперсионного анализа Фридмана.

Результаты изучения тонкой структуры паттерна работы в камере Сидмана на протяжении одночасового тестирования, полученные с помощью дисперсионного анализа, представлены в виде значений вероятности различия показателей КОД в табл. 1. Как видно из таблицы, статистически значимые различия показателя КОД обнаружены по фактору «облучение» у 1-й группы в первые 30 минут с момента посадки животных в камеры. Дифференциальные эффекты по этому фактору снижались от 1-го к 3-му облучению (37,6±1,3; 34,0±2,0; 28,5±3,0 соответственно в первые 15 минут и 40,8±2,2; 35,6±2,2; 32,0±2,5 во второй половине этого интервала). При анализе каждого срока испытания методом дисперсионного анализа Фридмана было получено, что показатель КОД у 1-й группы понижается на следующие сутки после облучений ($p=0,04$). Кроме того, этим же методом обнаружено снижение показателя КОД у 2-й группы в ответ на 1-е облучение во все сроки испытания через 30 минут после посадки в камеры ($p=0,02$), а также увеличение числа пропущенных ударов от 1-го к 3-му облучению ($p=0,03$). У крыс 3-й группы КОД изменяется по фактору «сроки испытания» – дифференциальные эффекты этого фактора, независимо от воздействия, повышаются от 1-го к 3-му дню испытания (27,5±1,8; 35,7±1,9; 36,7±2,0 соответственно), что вполне закономерно с точки зрения закрепления навыка.

Таблица 1

Вероятности различия показателей коэффициента оперантной деятельности (КОД), оценённые дисперсионным методом 2-факторного плана за четыре 15-минутных интервала работы крыс в камере Сидмана

Группы	Порядковый номер теста	Источники дисперсии (факторы)**							
		1	2	1	2	1	2	1	2
		0-15 мин		15-30 мин		30-45 мин		45-60 мин	
1	1	0,03* (0,007)*	0,39	0,04* (0,03)*	0,69	0,59 (0,19)	0,23	0,73 (0,34)	0,55
	2	0,67 (0,04)*	0,85	0,90 (0,89)	0,96	0,82 (0,21)	0,96	0,57 (0,52)	0,51
	3	0,32 (0,63)	0,70	0,28 (0,08)	0,81	0,71 (0,82)	0,31	0,82 (0,68)	0,49
2	1	0,43 (0,93)	0,98	0,75 (0,15)	0,39	0,38 (0,02)*	0,73	0,67 (0,25)	0,92
	2	0,89 (0,52)	0,94	0,80 (0,21)	0,93	0,83 (0,07)	0,88	0,95 (0,82)	0,68
	3	0,62 (0,31)	0,99	0,31 (0,19)	0,53	0,57 (0,03)*	0,92	0,72 (0,24)	0,47
3	1	0,23 (0,25)	0,003*	0,75 (0,63)	0,58	0,80 (0,63)	0,29	0,93 (0,45)	0,25
	2	0,86 (0,19)	0,95	0,97 (0,81)	0,97	0,95 (0,19)	0,45	0,99 (0,81)	0,32
	3	0,30 (0,23)	0,06	0,65 (0,26)	0,59	0,91 (0,22)	0,69	0,55 (0,69)	0,93

Примечание:* Различия дифференциальных факторных эффектов (уровень значимости 0,05); **Достоверных факторных взаимодействий не отмечено, и их вероятности в таблице не приводятся; в скобках отмечены вероятности дисперсий по Фридману.

Таким образом, можно сделать вывод, что крысы 1-й группы, облучённые со средним ППЭ 30 мкВт/см^2, после каждого облучения медленнее адаптировались в камере Сидмана в первые 30 минут после посадки по сравнению с другими группами. У 2-й группы (ППЭ 3 мкВт/см^2) эффект выражен неявно, что свидетельствует прежде всего о широкой вариабельности в самой группе, в 3-й группе никакой тенденции к изменению анализируемых показателей в зависимости от воздействий вообще не обнаружено.

Заключение

На основании приведённых данных, полученных нами ранее [3, 6, 9, 10], и результатов настоящего исследования можно заключить, что низкоинтенсивное импульсно-модулированное ЭМИ диапазона СВЧ небезразлично для реализации сложных психофизиологических функций как при кратковременном однократном, так и хроническом воздействиях. При этом степень негативного влияния его обусловлена не только физическими параметрами самого фактора и длительностью его воздействия. Существенным условием для ответа организма на воздействие ЭМП является степень готовности ЦНС или уровень организации высшей нервной деятельности, определяющий адекватность и стабильность адаптивных реакций к данному раздражителю. Показано, что у крыс с высокоорганизованной функциональной деятельностью ЦНС (обучение, опыт), определяющей адаптационное поведение в стрессовых ситуациях, по-

рог восприятия ЭМИ, как негативного фактора, оказывается более высоким, чем для животных, впервые оказавшихся в поле ЭМИ. Обнаруживаемые эффекты ЭМИ на оперантную деятельность при описанных выше условиях воздействия транзиторны, выражены нерезко и обнаруживаются на пороге разрешающей способности использованных параметрических и непараметрических методов анализа. Однако, несмотря на достаточно высокую резистентность оперантного теста к модулирующему воздействию ЭМИ СВЧ, весьма вероятны тонкие нарушения в характере «работы» крыс в ходе его выполнения. Так, краткосрочное импульсное облучение в диапазоне СВЧ 9,8 ГГц со средней мощностью 30 мкВт/см^2 оказывает на крыс психодепрессивное действие, проявляющееся торможением фазы врабатывания в оперантном тесте Сидмана. Указанный эффект воспроизводится при повторных воздействиях облучения с интервалом 5 дней. Полученные результаты представляются весьма интересными с точки зрения фундаментальной науки, поскольку тест имеет отношение к высокоорганизованному адаптационному поведению. Модифицирование этой функции ЦНС в результате воздействия данного фактора нетепловой интенсивности важно и для экстраполяционной оценки безопасных уровней сложноорганизованного импульсного электромагнитного излучения.

Литература

1. **Холодов Ю.А.** Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. М.: «Наука», 1996. 284 с.
2. **Холодов Ю.А.** Неспецифическая реакция нервной системы на неионизирующие излучения //Радиационная биология. Радиоэкология. 1998. Т. 38, № 1. С. 121-124.
3. **Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В., Глушакова В.С., Посадская В.М.** Экспериментальная оценка реакций ЦНС на воздействие импульсных ЭМИ низкой интенсивности //Радиация и риск. 2010. Т. 19, № 3. С. 104-119.
4. **Лукьянова С.Н.** Электромагнитное поле СВЧ-диапазона нетепловой интенсивности как раздражитель для центральной нервной системы. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2015. 200 с.
5. **Семенова Т.П., Медвинская Н.И., Блисковка И.Г., Акоев И.Г.** Влияние электромагнитного излучения на эмоциональное поведение крыс //Радиационная биология. Радиоэкология. 2000. Т. 40, № 6. С. 693-695.
6. **Павлова Л.Н., Дубовик Б.В., Жаворонков Л.П., Глушакова В.С.** Экспериментальное обоснование возможных механизмов влияния электромагнитных полей (ЭМП) низкой интенсивности на поведение животных //Радиационная биология. Радиоэкология. 2012. Т. 52, № 4. С. 1-6.
7. **Хорсева Н.И., Григорьев Ю.Г., Горбунова Н.В.** Психофизиологические показатели детей-пользователей мобильной связью. Сообщение 2. Результаты четырехлетнего мониторинга //Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т. 51, № 5. С. 617-623.
8. **Васильева Т.И., Добрикова Е.А.** Влияние электромагнитных полей сотового телефона на адаптационные процессы организма человека //VI съезд по радиационным исследованиям: сборник трудов. М., 2010. Т. 2. С. 164.
9. **Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В., Павлова Л.Н., Колганова О.И., Посадская В.М.** Влияние широкополосного импульсно-модулированного ЭМП низкой интенсивности на общую возбудимость ЦНС //Радиация и риск. 2011. Т. 20, № 2. С. 64-74.
10. **Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В.** Влияние низкоинтенсивного широкополосного импульсно-модулированного электромагнитного поля на когнитивные функции мозга крыс //Радиация и риск. 2013, Т. 22, № 2. С. 91-100.
11. **Frolich H.** Long-range coherence and energy storage in biological systems //Int. J. Quant. Chem. 1968. V. 2, N 5. P. 641-649.
12. **Frolich H.** What are non-thermal electric biological effects? //J. Bioelectromagnetics. 1982. V. 3, N 1. P. 45-47.

Effect of broadband pulsed-modulated low intensity electromagnetic field on highly organized adaptive behavior of Wistar rats

Pavlova L.N., Dubovik B.V.[1], Zhavoronkov L.P., Lushnikova G.A.

A. Tsyb MRRC, Obninsk;
[1] Belarus State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

The purpose of the study is to examine effect of chronic exposure of pulsed-modulated low intensity electromagnetic field on highly organized adaptive behavior. Impact of chronic exposure of pulsed poly-frequency electromagnetic radiation on performance of operator's test in Sidman's box was studied in Wistar rats trained to perform the test with 80-99% efficiency of «work». The frequency of electromagnetic field varied from 0.475 over 9.8 GHz. For the study various combinations of energy and modulation characteristics were used. The animals were exposed to microwave electromagnetic field during 3-4 months, the interval between exposures was 3-5 days. Regimens of exposure differed by the number of carrier frequencies in a specific range, pulse power (300, 600 mcW/cm^2; τ – 25 ms), character of changing pulse sampling (3→1, 6→1 Hz), exposition, existence and duration of intervals (continuous or cyclic exposure). True and false irradiation sessions were alternated. Results of study demonstrate that the rats trained to perform Sidman's avoidance test were sufficiently resistant to chronic exposure of modulated microwave electromagnetic radiation. However, after 3-week cessation the rats previously exposed to electromagnetic radiation performed the test less efficiently than control animals. In addition to that fine disturbances of behavioral activity of trained rats are possible. Two-factor dispersion analysis of pattern of «operator's work» of animals under natural conditions demonstrates psychodepressive effect of short-term exposure of pulse electromagnetic radiation of 9.8 GHz and middle power 30 mcW/sm^2, manifested as retardation of the initial phase of performing Sidman's avoidance test.

***Key words**: Wistar rats, psychophysiological functions, highly organized behavior, preliminary training, broadband electromagnetic influence, nonthermal intensity, pulsed modulation, super high frequency range, operate avoidance test, Sidman's box, phase of performing.*

References

1. **Kholodov Yu.A.** *Vliyanie elektromagnitnykh i magnitnykh poley na tsentral'nuyu nervnuyu sistemu* [The influence of the electromagnetic and magnetic fields on the central nervous system]. Moscow, Science, 1996. 284 p.
2. **Kholodov Yu.A.** Nespetsificheskaya reaktsiya nervnoy sistemy na neioniziruyushchie izlucheniya [Nonspecifical reaction of the nervous system on the non-ionizing radiations]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya – Radiation biology. Radioecology*, 1998, vol. 38, no. 1, pp. 121-124.
3. **Pavlova L.N., Zhavoronkov L.P., Dubovik B.V., Glushakova V.S., Posadskaya V.M.** Eksperimental'naya otsenka reaktsiy tsentral 'noy nervnoy sistemy na vozdeystvie impul'snykh EMI nizkoy intensivnosti [Experimental estimation of the central nervous system's responses to the exposure with pulsed-modulated electromagnetic irradiation of low intensity]. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2010, vol. 19, no. 3, pp. 104-119.
4. **Luk'yanova S.N.** *Elektromagnitnoe pole SVCh diapazona neteplovoy intensivnosti kak razdrazhitel' dlya tsentral'noy nervnoy sistemy* [Eltctromagnetic field of super high frequency range of non-thermal intensity as a stimulus to the central nervous system]. Moscow, A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center FMBA of Russia, 2015. 200 p.
5. **Semenova T.P., Medvinskaya N.I., Bliskovka I.G., Akoev I.G.** Vliyanie elektromagnitnogo izlucheniya na emotsional'noe povedenie krys [The influence of the electromagnetic radiation on the emotional behavior of

Pavlova L.N.* – Lead. Researcher, C. Sc., Med.; **Zhavoronkov L.P.** – Deputy Director, MD; **Lushnikova G.A.** – Researcher, C. Sc., Med. A. Tsyb MRRC. **Dubovick B.V.** – Chief of Farmocology Chair, MD, Prof. BGMU.
*Contacts: 4 Korolyov str., Obninsk, Kaluga region, Russia, 249036. Tel.: 8 (484) 399-71-38; e-mail: pavlova.ln@inbox.ru.

rats]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya – Radiation biology. Radioecology*, 2000, vol. 40, no. 6, pp. 693-695.

6. **Pavlova L.N., Dubovik B.V., Zhavoronkov L.P., Glushakova V.S.** Eksperimental'noe obosnovanie vozmozhnykh mekhanizmov vliyaniya elektromagnitnykh poley (EMP) nizkoy intensivnosti na povedenie zhivotnykh [Experimental justification of possible mechanisms of action of low intensity elctromagnetic fields (EMF) on animals' behavior]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya – Radiation biology. Radioecology*, 2012, vol. 52, no. 4, pp. 1-6.
7. **Khorseva N.I., Grigor'ev Yu.G., Gorbunova N.V.** Psikhofiziologicheskie pokazateli detey-pol'zovateley mobil'noy svyaz'yu. Soobshchenie 2. Rezul'taty chetyrekhletnego monitoringa [Psihophiziological figures of childrens – using of mobil communication. Report 2. Results of 4-years observation]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya – Radiation biology. Radioecology*, 2011, vol. 51, no. 5, pp. 617-623.
8. **Vasil'eva T.I., Dobrikova E.A.** Vliyanie elektromagnitnykh poley sotovogo telefona na adaptatsionnye protsessy organizma cheloveka [The influence of electromagnetic fields of the mobil telefon on the adaptation processes of the human organism]. *Sbornik trudov VI s"ezda po radiatsionnym issledovaniyam* [Proceedings of the VI congress on radiation investigations]. Moscow, 2010, vol. 2, p. 164.
9. **Zhavoronkov L.P., Dubovik B.V., Pavlova L.N., Kolganova O.I., Posadskaya V.M.** Vliyanie shirokopolosnogo impul'sno-modulirovannogo EMP nizkoy intensivnosti na obshchuyu vozbudimost' TsNS [The influence of videband pulsed-modulated electromagnetic field of low intensity on the whole excitability of the central nervous system]. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2011, vol. 20, no. 2, pp. 64-74.
10. **Pavlova L.N., Zhavoronkov L.P., Dubovik B.V.** Vliyanie nizkointensivnogo shirokopolosnogo impul'sno-modulirovannogo elektromagnitnogo polya na kognitivnye funktsii mozga krys [Effect of broadband pulsed-modulated low intensity electromagnetic field on the activity of conditioned-reflex in rats]. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 91-100.
11. **Frolich H.** Long-range coherence and energy storage in biological systems. *Int. Quant. Chem*., 1968, vol. 2, no. 5, pp. 641-649.
12. **Frolich H.** What are non-thermal electric biological effects? *J. Bioelectromagnetics*, 1982, vol. 3, no. 1, pp. 45-47.