

ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СЛОЖНООРГАНИЗОВАННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОВЕДЕНИЕ КРЫС В ТЕСТЕ “ОТКРЫТОЕ ПОЛЕ”

© 2024 г. О. И. Колганова, В. В. Панфилова*, О. С. Измestьева, Г. П. Жураковская,
О. Ф. Чибисова, Л. П. Жаворонков

*Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал
Национального медицинского исследовательского центра радиологии
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия*

**E-mail: whiskas04@yandex.ru*

Поступила в редакцию 27.09.2023 г.

После доработки 20.03.2024 г.

Принята к публикации 24.04.2024 г.

В опытах на крысах Вистар, самцах и самках, изучено действие 3-кратного (1 ч в день с интервалом 3 дня) и многократного (8 недель, 5 дней в неделю, по 2 ч в день) импульсно-модулированного электромагнитного излучения на ориентировочно-исследовательскую реакцию, тестируемую методом “открытое поле”. Облучение животных осуществляли в безэховой камере в зоне сформированной волны источника СВЧ излучения (блок из десяти генераторов, несущие частоты от 1 до 4 ГГц, суммарная средняя плотность потока энергии в импульсе 300 мкВт/см², длительность импульса 25 мс, циклы свипирования 1–6 Гц, время оборота цикла 30 с). Показано, что воздействие с такими параметрами может вызывать стрессовую реакцию и нарушение долговременной памяти у части облученных животных, причем самки крыс были более чувствительны к действию микроволн, чем самцы. Эта реакция была транзиторной, и через 1.5–2 мес. после прекращения облучения поведение животных восстанавливалось. Однако существует опасность, что при постоянном воздействии микроволн, что, например, имеет место у пользователей мобильной связью, подобные отклонения в поведении могут закрепиться и стать клинически значимыми.

Ключевые слова: крысы, микроволны, ориентировочно-исследовательская реакция, тест “открытое поле”

DOI: 10.31857/S0869803124030057, **EDN:** MBNNYD

В условиях современного мира организм человека подвергается сложноорганизованному электромагнитному излучению (ЭМИ) в связи с внедрением во все сферы деятельности новых источников разных мощностей, диапазонов частот и режимов модуляции, что вызывает серьезную озабоченность научной общественности [1–5]. Весьма чувствительной системой к воздействию ЭМИ является ЦНС [6], состояние которой оценивают по целому ряду тестов.

Один из таких тестов – изучение ориентировочно-исследовательской реакции (ОИР) животных в “открытом поле”. Этот метод, несмотря на его кажущуюся простоту, довольно информативен и достаточно часто используется как отечественными, так и зарубежными исследователями при изучении эффектов неионизирующего излучения. Исследованиями 1970–1990-х гг. было показано, что при облучении микроволнами

в дозах, вызывающих повышение температуры тела животных на 1 градус, у них нарушается ОИР [7], при меньших интенсивностях воздействующего фактора результаты не столь однозначны. Так, в работах [8] и [9] не выявлены негативные последствия хронического воздействия ЭМИ на поведение крыс в открытом поле. В то же время большинство исследователей отмечали наличие отрицательных эффектов [10–18].

Ранее мы изучили эффекты низкоинтенсивного многократного импульсно-модулированного ЭМИ (в диапазонах мобильной связи) в разных вариантах воздействия на ассоциативное обучение, определяемое по тесту выработки и воспроизведения условного рефлекса активного избегания (УРАИ) у крыс. Обнаружили, что такое воздействие “может вызывать аномальные для столь низких энергий функциональные проявления со стороны ЦНС в виде нестабиль-

ности психофизиологического статуса и поведения” [19]. Цель данной работы — анализ влияния на неассоциативное обучение животных тех же режимов ЭМИ по методу “открытое поле”.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Опыты проведены на самцах и самках крыс Вистар, в начале эксперимента возраст животных составлял 2.5 мес. В виварии животных содержали по шесть животных в пластиковых клетках, на стандартном пищевом рационе из брикетированного корма и распаренного зерна со свободным доступом к воде и еде. Все манипуляции проводили в соответствии с нормативно-правовыми актами о гуманном отношении к лабораторным животным [20].

Важным показателем состояния психофизиологической сферы является ОИР, тестируемая методом “открытого поля”. Метод позволяет оценить уровень эмоциональности (страх, тревога, беспокойство или заторможенность и т.д.), проявление исследовательского рефлекса, двигательную и ориентировочную активность. При неоднократном тестировании можно зафиксировать изменения в долговременной памяти и развитие реакции привыкания.

“Открытое поле” в наших экспериментах представляло собой квадратный (1.0×1.0 м), равномерно освещенный манеж, ограниченный непрозрачными бортиками высотой 30 см и расчерченный на 16 равных квадратов (25×25 см). Регистрацию поведенческих реакций начинали с момента посадки животного в манеж (в центральную зону, представленную четырьмя срединными квадратами). Поскольку в природе грызунам, оказавшимся на открытом пространстве, свойственно поспешить в укрытие (в угол манежа), то длительное пребывание их в центральной зоне (критерий “лаг-фаза”) расценивалось как проявление заторможенности и стресса. Из других критериев оценки поведения животных в тесте “открытое поле” регистрировались следующие: число пересечений квадратов в центре и по периферии манежа, вертикальная активность (вставание на задние лапы), число заходов в углы, стереотипные движения (груминг), количество актов дефекации (число болюсов). Длительность тестирования составляла 10 мин и результаты оценивались отдельно по двум пятиминуткам. Это обусловлено разным психофизиологическим статусом в процессе 10-минутного тестирования, поскольку в норме освоение пространства

у крыс происходит преимущественно в первые 5 мин, после чего исследовательская реакция, беспокойство и двигательная активность снижаются. Излишняя активность на протяжении всего цикла тестирования свидетельствует о возбужденности животного. Повторное тестирование через несколько суток дает возможность судить о наличии памятного следа. В случае нарушения процессов запоминания (долгосрочная память) у крысы при повторном тестировании показатели двигательной активности и длительность лаг-фазы не отличаются от таковых в предыдущем тесте. Крыса не узнает обстановку и исследует ее, как в первый раз.

Воздействовали на животных микроволнами в безэховой камере в зоне сформированной волны (около 3 м) от источника СВЧ излучения (блок из десяти генераторов с несущими частотами, равномерно распределенными по диапазону 1–4 ГГц при близких значениях мощности от каждого генератора). Во время облучения крысы находились в решетчатых контейнерах из оргстекла, ограничивающих свободное движение животных, но не нарушающих их теплообмен, и продольной осью тела были ориентированы параллельно вектору E поля. В безэховой камере поддерживались следующие условия микроклимата: температура воздуха 22.0 ± 0.5 °C, влажность воздуха $50 \pm 5\%$, конвекционный поток воздуха около 0.5 м/с.

Для исследований были выбраны два разных варианта воздействия. Первый вариант: животных подвергали облучению 3 раза с интервалом 3 дня, по 1 ч в день. Второй вариант — 40 сеансов облучения, 5 дней в неделю по рабочим дням, ежедневная экспозиция составляла 2 ч, таким образом, период хронического воздействия длился около 2 мес. В обоих случаях использовали импульсный режим: суммарная ППЭ в импульсе 300 мкВт/см^2 , длительность импульса 25 мс, с возвратными циклами свипирования (изменения частоты) импульсной модуляции ЭМИ в диапазоне частот, близком к ритмам ЭЭГ (от 6 до 1 Гц), время оборота цикла 30 с. Животные контрольных групп подвергались таким же манипуляциям, как и подопытные животные, но при выключенном источнике.

Животных тестировали за сутки до начала облучения (фоновые показатели) и составляли равноценные по исходной активности контрольные и подопытные группы, при этом из дальнейшей работы исключали животных, которые аномально долго не выходили из центральной зоны.

Таблица 1. Показатели ОИР самцов крыс, облученных в течение 3 сеансов ЭМИ за 10 мин наблюдений (сумма показателей за первую и вторую пятиминутки)
Table 1. Indicators of the tentative research activity of male rats irradiated during three sessions of EMR, in total for 10 minutes of observations ($M \pm m$)

Показатели Группа	Лag-фаза (с)	Количество встаний	Груминг	Дефекации	Заход в углы	Количество пересечений квадратов в центре	Количество пересечений квадратов по периферии
Исходные показатели (до воздействия)							
К ($n = 19$)	3.4 ± 0.9	13.5 ± 1.8	9.4 ± 1.0	1.5 ± 0.3	12.2 ± 1.6	1.9 ± 0.4	32.7 ± 4.8
О ($n = 18$)	2.3 ± 0.3	10.9 ± 1.7	9.1 ± 1.0	1.4 ± 0.4	11.9 ± 1.7	1.8 ± 0.3	31.4 ± 4.9
Первый тест (через 1 сут после воздействия)							
К ($n = 19$)	2.5 ± 0.4	7.4 ± 1.1	8.7 ± 1.1	0.7 ± 0.2	9.3 ± 1.4	1.8 ± 0.2	25.2 ± 4.3
О ($n = 18$)	2.7 ± 0.7	5.4 ± 1.0	6.4 ± 0.9	0.3 ± 0.1	8.3 ± 1.4	1.6 ± 0.3	22.1 ± 4.4
Второй тест (через 11 сут после воздействия)							
К ($n = 19$)	1.3 ± 0.1	9.1 ± 1.4	7.3 ± 0.7	1.2 ± 0.3	10.6 ± 1.6	1.8 ± 0.5	28.5 ± 4.6
О ($n = 18$)	1.3 ± 0.1	12.4 ± 1.6	5.9 ± 0.9	1.9 ± 0.4	13.0 ± 1.8	2.4 ± 0.6	35.9 ± 5.4
Третий тест (через 26 сут после воздействия)							
К ($n = 19$)	2.4 ± 0.5	7.0 ± 1.0	6.5 ± 0.7	0.9 ± 0.3	9.7 ± 1.4	1.3 ± 0.1	25.8 ± 3.8
О ($n = 18$)	1.9 ± 0.2	9.5 ± 1.3	5.9 ± 0.7	0.7 ± 0.3	12.4 ± 1.6	1.3 ± 0.2	34.9 ± 4.8
Четвертый тест (через 45 сут после воздействия)							
К ($n = 19$)	1.7 ± 0.2	9.0 ± 1.4	6.6 ± 0.7	2.5 ± 0.6	10.3 ± 1.4	1.8 ± 0.5	28.1 ± 4.2
О ($n = 18$)	1.9 ± 0.1	9.8 ± 1.3	4.5 ± 0.8	0.7 ± 0.3	14.2 ± 1.9	2.0 ± 0.4	40.1 ± 5.5

Примечание. К – контрольная группа, О – опытная группа.

Все количественные показатели сравнивали по *t*-критерию Стьюдента и *U*-критерию Вилкоксона–Манна–Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Серия 1. Оценка ОИР животных после трехкратного СВЧ-облучения

В этом варианте работы воздействию подвергались как самцы (табл. 1), так и самки крыс (табл. 2). Животных тестировали через 1, 11, 26 и 45 сут после окончания воздействия.

При изучении поведения самцов после облучения в процессе тестирования никаких нарушений в поведении крыс не выявлено: ОИР подопытной группы не отличалась от ОИР контрольной группы.

В процессе тестирования самок было замечено, что животные подопытной группы позднее,

чем животные контрольной группы, выходят из центральной зоны в начале опыта (показатель “лаг-фаза”). На 1-е и 11-е сутки эти различия не являются достоверными, но на 26-е сутки становятся статистически значимыми. Подопытная группа по этому признаку распалась на две подгруппы: 8 животных из 22 заметно позднее выходили из центральной зоны. Длительность их лаг-фазы составляла в среднем 30.9 ± 15.7 с, тогда как у остальных 14 крыс – 1.6 ± 0.2 с, различия между этими подгруппами опытной группы статистически значимы. Можно заключить, что у части животных подопытной группы возникло состояние частичного ступора, замирания, тревожности. Однако через 1.5 мес. после окончания облучения поведение крыс подопытной группы восстановилось. Следует отметить, что у контрольных крыс-самок во все сроки тестирования наблюдался очень маленький разброс показателя “лаг-фаза”. По остальным изученным показателям статистических различий между

Таблица 2. Показатели ориентировочно-исследовательской активности самок крыс, облученных в течение трех сеансов ЭМИ, суммарно за 10 мин наблюдений**Table 2.** Indicators of the tentative research activity of **female** rats irradiated during three sessions of EMR, in total for 10 minutes of observations ($M \pm m$)

Показатели Группа	Лag-фаза (с)	Количество вставаний	Груминг	Дефекации	Заход в углы	Количество пересечений квадратов в центре	Количество пересечений квадратов по периферии
Исходные показатели (до воздействия)							
К ($n = 22$)	2.4 ± 0.4	17.5 ± 1.9	5.3 ± 0.6	0.9 ± 0.3	26.9 ± 1.7	8.4 ± 1.3	76.9 ± 4.4
О ($n = 22$)	2.5 ± 0.4	15.8 ± 1.5	5.8 ± 0.5	0.9 ± 0.2	30.0 ± 1.8	9.3 ± 1.1	77.3 ± 5.1
Первый тест (через 1 сут после воздействия)							
К ($n = 22$)	2.0 ± 0.8	22.8 ± 3.0	6.8 ± 1.0	1.3 ± 0.2	22.0 ± 2.4	5.8 ± 1.2	59.1 ± 7.1
О ($n = 22$)	8.9 ± 4.8	20.8 ± 2.5	6.3 ± 0.8	1.4 ± 0.4	23.8 ± 2.2	7.0 ± 1.1	65.2 ± 6.4
Второй тест (через 11 сут после воздействия)							
К ($n = 22$)	2.2 ± 0.3	8.0 ± 1.1	8.9 ± 1.1	1.2 ± 0.3	8.9 ± 1.2	2.9 ± 0.4	23.0 ± 3.3
О ($n = 22$)	11.0 ± 5.7	5.9 ± 1.1	8.2 ± 0.7	0.8 ± 0.2	8.0 ± 1.2	2.6 ± 0.3	20.3 ± 3.5
Третий тест (через 26 сут после воздействия)							
К ($n = 22$)	1.5 ± 0.1	9.3 ± 2.0	8.1 ± 1.3	1.4 ± 0.4	10.7 ± 1.9	3.4 ± 1.1	28.4 ± 5.4
О ($n = 22$)	$12.3 \pm 6.3^*$	4.9 ± 0.8	5.4 ± 0.9	0.5 ± 0.2	7.1 ± 1.0	1.5 ± 0.2	17.9 ± 2.9
Четвертый тест (через 45 сут после воздействия)							
К ($n = 22$)	2.0 ± 0.2	6.2 ± 1.6	3.3 ± 0.4	0.5 ± 0.2	8.5 ± 1.4	2.6 ± 0.7	21.9 ± 4.1
О ($n = 22$)	2.3 ± 0.1	5.8 ± 1.5	4.3 ± 0.5	1.0 ± 0.3	9.6 ± 1.5	2.0 ± 0.4	26.0 ± 4.5

Примечание. К – контрольная группа, О – опытная группа.

* Статистически значимые различия с контрольной группой при $p \geq 0.05$.

контрольной и подопытной группами зафиксировано не было. И у контрольной, и у подопытной группы по мере тестирования развивалась реакция привыкания: уменьшалось количество вставаний и снижалась общая двигательная активность.

Серия 2. Многократное облучение в течение 40 сеансов

В этом варианте работы воздействию подвергались только самцы. При тестировании ОИР крыс-самцов контрольной и подопытной группы во все сроки испытаний, как во время хронического облучения, так и после окончания воздействия, статистически значимые различия были выявлены только в длительности лаг-фазы (табл. 3) после окончания облучения (на следующие сутки после 40-го сеанса облучения).

Имелась также тенденция (на уровне $p = 0.1$) к различию между опытной и контрольной группами при тестировании животных после 40-го сеанса облучения в первые пять минут наблюдения по таким показателям, как количество вставаний, заход в углы, двигательная активность по периферии манежа.

Во все остальные сроки тестирования как во время облучения, так и через два месяца после окончания облучения, статистически значимых различий между подопытной и контрольной группами выявлено не было. Однако можно отметить, что у контрольной группы по мере тестирования происходит укорочение времени выхода из центральной зоны и сужение разброса показателя “лаг-фаза”, что свидетельствует о длительном запоминании контрольными животными знакомой обстановки манежа. В то же время у подопытных животных как во время облучения, так и после

Таблица 3. Показатели ориентировочно-исследовательской активности самцов крыс, облученных в течение 40 сеансов ЭМИ, за 10 мин наблюдений
Table 3. Indicators of the tentative research activity of male rats irradiated during forty sessions of EMR, in total for 10 minutes of observations (*M* ± *m*)

Показатели Группа	Лаг-фаза (с)	Количе- ство вста- ваний	Груминг	Дефека- ции	Заход в углы	Количество пе- ресечений ква- дратов в центре	Количество пере- сечений квадра- тов по периферии
Исходные показатели (до воздействия)							
К (<i>n</i> = 19)	3.9 ± 1.7	17.0 ± 3.3	6.7 ± 0.6	1.1 ± 0.3	23.3 ± 3.9	8.6 ± 1.5	66.8 ± 11.7
О (<i>n</i> = 20)	4.3 ± 1.1	15.3 ± 2.3	8.8 ± 1.1	1.6 ± 0.4	21.0 ± 3.3	8.0 ± 1.5	59.2 ± 10.0
Первый тест (через 11 сеансов воздействия)							
К (<i>n</i> = 19)	3.2 ± 0.4	8.7 ± 1.4	7.8 ± 0.7	1.4 ± 0.3	14.4 ± 2.1	4.4 ± 0.7	39.8 ± 6.3
О (<i>n</i> = 20)	19.1 ± 14.8	9.6 ± 1.5	6.7 ± 0.9	1.6 ± 0.6	15.7 ± 2.7	6.1 ± 1.1	43.9 ± 7.7
Второй тест (через 31 сеанс воздействия)							
К (<i>n</i> = 19)	3.0 ± 0.6	7.5 ± 1.4	4.4 ± 6.9	0.6 ± 0.3	13.4 ± 2.1	3.7 ± 0.8	36.6 ± 6.1
О (<i>n</i> = 20)	10.7 ± 0.7	7.6 ± 1.1	5.2 ± 6.8	0.9 ± 0.3	13.8 ± 2.0	4.4 ± 0.7	39.0 ± 6.3
Третий тест (через 40 сеансов воздействия)							
К (<i>n</i> = 19)	2.3 ± 0.5	6.4 ± 1.6	5.2 ± 0.7	1.2 ± 0.4	12.0 ± 2.2	4.2 ± 0.9	33.4 ± 6.8
О (<i>n</i> = 20)	6.7 ± 2.1*	7.8 ± 1.2	5.3 ± 0.6	0.6 ± 0.2	16.1 ± 2.4	5.2 ± 1.1	45.1 ± 7.3
Четвертый тест (через два месяца после окончания воздействия)							
К (<i>n</i> = 19)	1.9 ± 0.2	9.5 ± 2.1	5.2 ± 0.7	0.3 ± 0.1	16.1 ± 2.7	4.5 ± 0.9	45.0 ± 8.0
О (<i>n</i> = 20)	21.2 ± 14.4	8.9 ± 1.6	5.8 ± 0.6	0.7 ± 0.3	14.8 ± 2.5	3.6 ± 0.8	40.1 ± 7.4

Примечание. К – контрольная группа, О – опытная группа.
* Статистически значимые различия с контрольной группой при *p* ≥ 0.05.

его окончания сохраняется длительная лаг-фаза, причем наблюдается расслоение подопытной группы на животных с короткой лаг-фазой и животных с длительной лаг-фазой, что говорит о том, что у части подопытных крыс возникли нарушения долговременной памяти.

ОБСУЖДЕНИЕ

В современном мире остро встал вопрос влияния на когнитивные функции и в целом на здоровье относительно слабых, но сложно организованных электромагнитных полей (ЭМП), формирующихся от одновременно работающих нескольких источников ЭМИ с разными несущими частотами. В своей работе мы постарались смоделировать такую ситуацию. Мы выяснили, что при использовании нескольких несущих и режимах модуляции, близких к ритмам ЭЭГ, воздействие ЭМИ данных режимов не вызывало

грубых нарушений ОИР животных, однако оно все же сказалось на процессе запоминания животными окружающей обстановки (территории манежа). Эти изменения не сохранялись длительно. Тем не менее данная наша работа вместе с предыдущей [19] показывает, что сложноорганизованные ЭМП могут вызывать функциональные нарушения в формировании процессов ассоциативного и неассоциативного обучения.

Наши результаты согласуются с исследованием влияния на когнитивные функции одной, двух или трех несущих частот импульсно-модулированного ЭМИ при одинаковой средней ППЭ [21]. Установлено, что реакция от каждой частоты находилась в пределах физиологической нормы, но при увеличении количества частот эффекты нарастали. Анализ показал, что различная степень синхронизации биоэлектрической активности мозга может рассматриваться как один из нейрофизиологических механизмов

формирования аномальных реакций мозга, имеющих свое отражение в поведении животных.

Другим возможным механизмом эффектов сложных ЭМИ может быть прямое повреждающее действие на мозг. Так, [18] исследовали эффекты длительного влияния ЭМИ в режимах мобильной связи на структуры мозга и антиоксидантный статус мозга и, параллельно, на поведение животных в открытом поле и лабиринтах. После воздействия ЭМИ гистологическое исследование показало наличие нейродегенеративных изменений в клетках гиппокампа и коры головного мозга, а также значительное изменение уровня антиоксидантных ферментов. Одновременно наблюдалось статистически значимое ухудшение обучаемости животных и повышение уровня их тревожности. Данная работа позволяет сделать заключение о наличии прямой связи между повреждающим действием ЭМИ на мозг и поведением.

В нашей работе выявились также гендерные различия в реакции животных на 3-кратное воздействие ЭМИ: самки крыс оказались более чувствительны к облучению электромагнитными волнами. Рядом авторов, при использовании ЭМИ в других режимах, также выявлено более негативное действие ЭМИ на самок [14, 22, 23]. Данное обстоятельство может иметь значение при санитарно-гигиенической оценке последствий воздействия ЭМИ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом наших предыдущих исследований таких же режимов ЭМИ по критерию выработки и воспроизведению УРАИ, подтверждается наш вывод о том, что многократное воздействие сложноорганизованного ЭМИ, близкого к параметрам мобильной связи, может вызывать функциональные нарушения в поведении животных, однако эти нарушения не достигают выраженной клинической значимости. Однако существует опасность, что при постоянном воздействии ЭМИ, что, например, имеет место у пользователей мобильной связью, подобные отклонения в поведении могут закрепиться и стать клинически значимыми.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при частичном финансировании РФФИ и администрации Калужской области (The work was carried out with partial financial support from the Russian Foundation

for Basic Research and the administration of the Kaluga Region).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи (The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of the article).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Колганова Ольга Ивановна, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия (Tsyb Medical Radiological Research Centre – branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia).

Сбор и анализ материала, написание статьи (Collection and analysis of material, writing an article).

o.kolgan.obn@mail.ru

Панфилова Виктория Викторовна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия (A. Tsyb Medical Radiological Research Centre – branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia).

Сбор и анализ материала, написание статьи (Collection and analysis of material, writing an article).

whiskas04@yandex.ru

Жураковская Галина Петровна, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия (A. Tsyb Medical Radiological Research Centre – branch of the National Medical Research Radiological Centre

of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia).

Сбор и анализ экспериментальных данных (Collection and analysis of experimental data).

zhgalina@mail.ru

Изместьева Ольга Семеновна, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия (A. Tsyb Medical Radiological Research Centre – branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia).

Сбор и анализ экспериментальных данных (Collection and analysis of experimental data).

olgaizmestieva@mail.ru

Чибисова Ольга Федоровна, научный сотрудник, Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия (A. Tsyb Medical Radiological Research Centre – branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia).

Сбор и анализ экспериментальных данных (Collection and analysis of experimental data).

trocha.olga@yandex.ru

Жаворонков Леонид Петрович, д-р мед. наук, профессор научно-образовательного отдела Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

(A. Tsyb Medical Radiological Research Centre – branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia).

Общее руководство, редактирование статьи (General guidance, article editing).

leonid.petrovich@inbox.ru

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорсева Н.И., Григорьев Ю.Г., Горбунова Н.В. Психофизиологические показатели детей-пользователей мобильной связью. Сообщение 2. Результаты четырехлетнего мониторинга. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2011;51 (5):617–623. [Khorseva N.I., Grigoriev Yu.G., Gorbunova N.V. Psychophysiological indicators of children-users of mobile communication. Message 2. Results of four-year monitoring. *Radiation biology. Radioecology*. 2011;51(5):617–623. (In Russ.)].
2. Lerchl A., Klose M., Grote K. et al. Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2015;459(4):585–590. <http://doi.org/10.1016/j.bbrc.2015.02.151>
3. Григорьев О.А., Никитина В.Н., Носов В.Н. и соавт. Электромагнитная безопасность населения. Национальные и международные нормативы электромагнитных полей радиочастотного диапазона. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНЕСО*. 2020;(10):28–33. [Grigoriev O.A., Nikitina V.N., Nosov V.N. et al. Electromagnetic radiation safety russian national and international regulatory frameworks for radiofrequency electromagnetic fields. *Public health and life environment – PH&LE*. 2020;10:28–33. (In Russ.)]. <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-331-10-28-33>
4. Григорьев О.А., Зубарев Ю.Б. Действие электромагнитной энергии беспроводной связи на человека: прогнозы роста обусловленной заболеваемости, их реализация и проблемы ошибки. *Концепции*. 2022;(1):3–17. [Grigoriev O.A., Zubarev Yu.B. The effects of wireless communication electromagnetic energy influence on persons: predictions of the growth for conditioned morbidity. Their implementation and problems of evaluation. *Concepts*. 2022;1:3–17. (In Russ.)]. <http://doi.org/10.34705/КО.2022.68.54.001>
5. Никитина В.Н., Калинина Н.И., Ляшко Г.Г. и соавт. Особенности архитектуры сетей 5G. Вероятностное прогнозирование воздействия электромагнитных полей радиочастот на население (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2021;100(8):792–796. [Nikitina V.N., Kalinina N.I., Lyashko G.G. et al. Special features of the architecture of 5G networks. Probabilistic forecasting of the impact of electromagnetic fields of radio frequencies on the population (literature review). *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(8):792–796. (In Russ.)]. <http://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-8-792-796>
6. Лукьянова С.Н. Фундаментальная характеристика нейроэффектов слабых электромагнитных воздействий (от нейрона к отделу мозга, ЦНС, организму). М.: Изд-во ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2023. 140 с. [Luk'yanova S.N. Fundamental'naya kharakteristika nejroeffektov slabyh e'lectromagnitnyh vozdeystvij (ot nejrona k otdely mozga, CNS,

- organizmu). M.: Izdatel'stvo Federal'nogo medicinskogo biofizicheskogo centra imeni A.I. Burnazyana, 2023. 140 p. (In Russ.).
7. D'Andrea J.A., Chou C.K., Johnston Sh.A., Adair E.R. Microwave effect on the nervous system. *Bioelectromagnetics*. 2003. Suppl. 6: S107–S147. <http://doi.org/10.1002/bem10179>
 8. Klose M., Grote K., Spathmann O., Streckert J. et al. Effects of early-onset radiofrequency electromagnetic field exposure (GSM 900 MHz) on behavior and memory in rats. *Radiat. Res.* 2014; 182 (4):435–447. <http://doi.org/10.1667/RR13695.1>
 9. Shirai T., Wang J., Kawabe M., Wake K. et al. No adverse effects detected for simultaneous whole-body exposure to multiple-frequency electromagnetic fields for rats in the intrauterine and pre- and post-weaning period. *J. Radiat. Res.* 2017; 58(1):48–8. <http://doi.org/10.1093/jrr/rw085>
 10. Денисенко С.А. Изучение ориентировочной активности крыс, испытывавших воздействие низкочастотного электромагнитного излучения сантиметрового диапазона. *Мир медицины и биологии (Світ медицини та біології)*. 2009; 5(2):99–104. [Denisenko S.A. Izuchenie orientirovochnoy aktivnosti kry's, ispy'tavshix vozejstvie nizkointensivnogo e'lectromagnitnogo izlucheniya santimetrovogo diapazona (Study on orientative activity of rats, which were prenatally exposed to low intensity centimetric range electro-magnetic radiation). *Mir mediciny' i biologii (World of medicine and biology)*. 2009; 5(2): 99–104. (In Russ.)].
 11. Зибарев Е.В., Афанасьев А.С., Слюсарева О.В., Булавина И.Д. Исследования влияния Wi-Fi оборудования на организм лабораторных животных. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(7):661–664. [Zibarev E.V., Afanas'ev A.S., Slysareva O.V., Bulavinova I.D. Exploratory studies of the influence of wireless equipment on the body of the laboratory animals. *Hygiene and Sanitation*. 2017; 96(7):661–664. (In Russ.)]. <http://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-661-664>
 12. Кадукова Е.М., Сташкевич Д.Г., Наумов А.Д. Влияние ионизирующего и неионизирующего излучений на поведение крыс-самок в тесте “Открытое поле”. *Проблемы здоровья и экологии*. 2015; 2(44): 55–59. [Kadukova E.M., Stashkevich D.G., Naumov A.D. The influence of ionizing and non-ionizing radiation on the behavior of female rats in the “open field” test. *Health and ecology issues. Problems of health and ecology*. 2015; 2 (44): 55–59. (In Russ.)]. <http://doi.org/10.51523/2708-6011.2015-12-2-11>
 13. Навакатикян М.А. Изменения активности и условнорефлекторной деятельности белых крыс в период хронического микроволнового облучения и после него. *Радиобиология*. 1988; 28(1): 120–125. [Navakatikyan M.A. Changes in the activity and conditioned reflex activity of white rats during chronic microwave irradiation. *Radiobiology*. 1988; 28 (1): 120-125. (In Russ.)].
 14. Хиразова Е.Э., Байжуманов А.А., Трофимова Л.К. и др. Влияние электромагнитного излучения GSM-диапазона на некоторые физиологические и биохимические характеристики крыс. *Бюлл. эксперим. биологии и медицины*. 2012; 153(6): 791–794. [Khirazova E.E., Bayzhumanov A.A., Trofimova L.K. et al. Effects of GSM-frequency electromagnetic radiation on some physiological and biochemical parameters in rats. *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2012; 153(6): 791–794. (In Russ.)].
 15. Ширяева Н.В., Вайдо А.И., Павлова М.В. и др. Влияние электромагнитных излучений на ориентировочно-исследовательскую активность и когнитивные функции крыс с контрастной возбудимостью нервной системы. *Интегративная физиология*. 2020; 1 (2): 123–132. [Shiryaeva N.V., Vaido A.I., Pavlova M.V. et al. Electromagnetic radiation impact on the orienting-exploratory activity and cognitive functions of rat strains with contrasting excitability of the nervous system. *Integrative physiology*. 2020; 1 (2): 123–132. (In Russ.)]. <http://doi.org/10.33910/2687-1270-2020-1-2-123-132>
 16. De Sere R., Poutriquet C., Games Ch. et al. Repeated exposure to nanosecond high power pulsed microwaves increases cancer incidence in rat. *Plos One*. 2020. 15(4): e0226858. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0226858>. eCollection 2020.
 17. Dondoladze Kh., Nikolaishvili M., Museliani T. et al. Impact of hosenhold microwave oven non-ionizing radiation on blood plasma cortizol levels in rats and their behavior. *Georg. Med. News*. 2020; 306: 132–137.
 18. Saikhedkar N., Bhatnagar M., Jain A. et al. Effect of mobile phone radiation (900 MHz radiofrequency) on structure and functions of rat brain. *Neurol. Res.* 2014; 36 (12): 1072–1079. <http://doi.org/10.1179/1743132814Y.0000000392>
 19. Павлова Л.Н., Колганова О.И., Измestьева О.С. и др. Влияние многократного и хронического воздействия электромагнитного излучения диапазона частот мобильной связи на поведение и когнитивные функции мозга крыс. *Радиаци. биология. Радиоэкология*. 2019; 59 (6): 619–626. [Pavlova L.N., Kolganova O.I., Izmestieva O.S. et al. Influence of multiple and chronic exposure to electromagnetic radiation of the mobile communication frequency range on the behavior and cognitive functions of the rat brain. *Radiation biology. Radioecology*. 2019; 59 (6): 619–626. (In Russ.)]. <http://doi.org/10.1134/S08698033119060080>
 20. FELASA Euroguide on the accommodation and care of animals used for experimental and other scientific purposes. London: The Royal Society of Medicine Press Ltd., 2007. 73 p.

21. Лукьянова С.Н., Степанов В.С., Торубаров Ф.С. Изучение биоэффектов сложноорганизованных электромагнитных воздействий низкой интенсивности. *Гигиена и санитария*. 2022; 101 (5): 515–521. [Lukyanova S.N., Stepanov V.S., Torubarov F.S. Studying the bioeffects of complexly organized electromagnetic impacts of low intensity. *Hygiene and Sanitation*. 2022; 101 (5): 515–521. (In Russ.)].
<http://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-515-521>
22. Измestьева О.С., Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П. Экспериментальная оценка последствий хронического воздействия электромагнитного излучения диапазона мобильной связи в антенатальном периоде развития крыс. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2020; 60 (1): 63–70. [Izmestieva O.S., Pavlova L.N., Zhavoronkov L.P. Experimental evaluation of the consequences of the chronic influence of electromagnetic radiation of the mobile communication range in antenatal rat development period. *Radiation biology. Radioecology*. 2020; 60 (1): 63–70. (In Russ.)].
<http://doi.org/10.31857/S0869803120010099>
23. Панфилова В.В., Колганова О.И., Чибисова О.Ф. Анализ результатов длительного воздействия ЭМИ на когнитивные функции потомства облученных крыс. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2021; 61 (2): 174–179. [Panfilova V.V., Kolganova O.I., Chibisova O.F. Analysis of the results of the prolonged influence of EMP on the cognitive functions of the progeny of irradiated rats. *Radiation biology. Radioecology*. 2021; 61 (2): 174–179. (In Russ.)].
<http://doi.org/10.31857/S0869803121010094>

The Effect of Repeated Exposure to Complexly Organized Electromagnetic Radiation on the Rats Behavior in the “Open Field” Test

O. I. Kolganova, V. V. Panfilova*, O. S. Izmestiyeva, G. P. Zhurakovskaya, O. F. Chibisova, L. P. Zhavoronkov

A. Tsyb Medical Radiological Research Centre – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia

*E-mail: whiskas04@yandex.ru

In experiments on Wistar rats, males and females, the effect of 3-fold (1 hour a day with an interval of three days) and multiple (8 weeks, 5 days a week, 2 hours a day) pulsed-modulated electromagnetic radiation on the tentative research reactions was studied, tested by the “open field” method. The animals were irradiated in an anechoic chamber in the zone of the formed wave of the microwave source (a block of 10 generators carrying frequencies from 1 to 4 GHz, the total pulse power density 300 microW/cm², pulse duration 25 ms, sweep cycles 1–6 Hz, cycle turn-around time 30s). It has been showed that exposure to such parameters can cause a stress reaction and an impairment of long-term memory in some irradiated animals, and female rats were more sensitive to the action of microwaves, than males. This reaction was transient and 1.5–2 months after cessation of irradiation, the behavior of the animals was restored. However, there is a danger that with constant exposure to microwaves, which, for example, occurs in mobile users, such behavior deviations may become fixed and clinically significant.

Key words: rats, microwaves, orienting-exploratory response, open-field test