

пробах и участвующих в эксперименте растений наблюдалась положительная динамика в увеличении их длины, площади и массы прироста: масса каждого растения роголистника и ряски увеличилась примерно в 2 раза. При этом часть от всего накопившегося трития перешла в биомассу растений в виде ОСТ, и это содержание составило до 21% общего содержания.

4. Экспериментально выяснено, что тритий из пищи переходит в особи рыбы и что около 75% от всего накопленного количества трития в тканях рыб присутствовало в мышечной ткани. При определении содержания трития в белках и липидах в экспериментальных системах не выявлено особенностей в использовании роголистника и ряски как источника питания.

5. Подтверждено, что основным источником поступления трития является пища, обогащенная тритием.

Финансирование. Работы выполнены при частичной финансовой поддержке проекта РФФИ № 16-05-00205.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п.п. 1, 3–17 см. References)

2. Катрич И.Ю. Мониторинг трития в природных водах СССР (России): Автореф. дисс. ... д-ра геогр. наук. Обнинск; 2009.
18. Зуев И.В., Семёнова Е.М., Шулепина С.П., Резник К.А., Трофимова Е.А., Шадрин Е.Н. и др. Питание хариуса *Thymallus Sp.* в среднем течении р. Енисей. Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2011; 4(3): 281–92.

References

1. Environmental Isotope Data: World Survey of Isotope Concentration in Precipitation. Vienna: IAEA; 1979.
2. Katrich I.Yu. Tritium monitoring in natural waters of the USSR (Russia): Diss. Obninsk; 2009. (in Russian)
3. UNSCEAR Document A/AC.82/R.360: Contamination from Nuclear Explosions. UNSCEAR; 1979.

4. The Tritium Systems Test Assembly at the Los Alamos National Laboratory, Los Alamos National Security, Benefits LANL, NNSA & National Security, DOE. Los Alamos; 2002.
5. Report and Advice on the Ontario Drinking Water Quality Standard for Tritium. Toronto: Ontario Drinking Water Advisory Council; 2009.
6. Park J.W., Lanier T.C. Processing of surimi and surimi seafood. In: Martin R.E., ed. Marine Freshwater Products Handbook. Lancaster: Technomic, 2000.
7. Benedict B.C., Bradshaw C. Bioaccumulation of tritiated water in phytoplankton and trophic transfer of organically bound tritium to the blue mussel, *Mytilus edulis*. J. Environ. Radioact. 2013; 115: 28–33.
8. Davis P., Galeriu D. Environmental Radioactivity and Ecotoxicology of Radioactive Substances. Berlin: Springer; 2011.
9. Galeriu D. Tritium. Radionuclides in the Environment. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.; 2010.
10. Galeriu D., Melintescu A. Tritium in Radionuclides in the Environment. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.; 2010.
11. Galeriu D., Heling R., Melintescu A. The dynamics of tritium – including OBT – in the aquatic food chain. Fusion Sci. Technol. 2005; 48: 779–82.
12. Kim S.B., Shultz C., Stuart M., McNamara E., Festarini A., Bureau D.P. Organically bound tritium (OBT) formation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): HTO and OBT-spiked food exposure experiments. Appl. Radiat. Isot. 2013; 72: 114–22.
13. König L.A. Tritium in the food chain. Radiat. Prot. Dosimetry. 1990; (2): 77–86.
14. Bondareva L. Natural Occurrence of Tritium in the Ecosystem of the Yenisei River. Fusion Sci. Technol. 2011; (4): 1304–7.
15. Bondareva L., Zeer G., Gerasimov V., Zhizaev A. Technogenic pollution and its migration in the water flow of the Yenisei River. River Systems. 2013; (3-4): 149–56.
16. Bolsunovsky A.Ya., Bondareva L.G. Tritium in surface waters of the Yenisei River basin. J. Environ. Radioact. 2003; 66: 285–94.
17. Bondareva L.G. Tritium Content of Some Components of the Middle Yenisei Ecosystem. Radiochemistry. 2015; (5): 557–63.
18. Zuev I.V., Semenova E.M., Shulepina S.P., Reznik K.A., Trofimova E.A., Shadrin E.N., et al. Feeding Composition of Grayling *Thymallus Sp.* in the Middle Reach of the Yenisei River. Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya. 2011; 4(3): 281–92. (in Russian)

Поступила 17.06.17

Принята к печати 05.07.17

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 612.821.014.426.084

Лукьянова С.Н., Карпикова Н.И., Григорьев Ю.Г., Веселовский И.А.

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИЙ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ НЕТЕПЛОВОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123182, Москва

Настоящая статья – совокупность материалов собственных исследований реакций мозга человека на электромагнитные поля радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) нетепловой интенсивности. Результаты исследований с участием добровольцев представили характеристику реакции ЦНС на кратковременные облучения ЭМП РЧ промышленного генератора и различных стандартов сотовой связи в условиях, преимущественно, облучения головы. Дана оценка физиологической значимости этих эффектов и показана их зависимость от типологических особенностей электроэнцефалограммы (ЭЭГ) человека. Обследование людей, работающих в условиях хронического облучения ЭМП РЧ, позволило представить зависимость соответствующих нейроэффектов от стажа работы.

Ключевые слова: электромагнитное поле; нетепловая интенсивность; испытуемые; острое облучение; реакция ЦНС; типологические особенности ЭЭГ; обследование работающих; стаж работы; функциональное состояние.

Для цитирования: Лукьянова С.Н., Карпикова Н.И., Григорьев Ю.Г., Веселовский И.А. Изучение реакций мозга человека на электромагнитные поля нетепловой интенсивности. Гигиена и санитария. 2017; 96(9): 848–854. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-9-848-854>

Для корреспонденции: Лукьянова Светлана Николаевна, д-р биол. наук, проф. ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123182, Москва. E-mail: lukyjanovasn@yandex.ru

Lukyanova S.N., Karpikova N.I., Grigoryev Yu.G., Veselovskiy I.A.

THE STUDY OF RESPONSES OF THE HUMAN BRAIN TO ELECTROMAGNETIC FIELD OF NON-THERMAL INTENSITY

A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Centre, Moscow, 123182, Russian Federation

This article is an array of materials of own research of the responses of the human brain to radio frequency electromagnetic fields (EMF RF) of non-thermal intensity. The results of studies with the participation of volunteers presented a characterization of the response of the central nervous system to short-term exposures to EMF RF from the

industrial generator and various cellular communication standards under conditions with predominantly irradiation of the head. There was given an estimation of the physiological significance of these effects and their dependence on human EEG typological features. The examination of persons working in conditions of chronic exposure of EMF RF, allowed present the dependence of neural effects on the work experience.

Key words: *electromagnetic field; non-thermal intensity; volunteers; acute exposure; CNS response; typological features of the EEG; examination of workers; work duration; functional condition.*

For citation: Lukyanova S.N., Karpikova N.I., Grigoryev Yu.G., Veselovskiy I.A. The study of responses of the human brain to electromagnetic field of non-thermal intensity. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(9): 848-854. (In Russ.). DOI: http://dx.doi.org/ 10.18821/0016-9900-2017-96-9-848-854

For correspondence: Svetlana N. Lukyanova, MD, PhD, DSci., Laboratory of Radiobiology and Hygiene of Non-Ionizing Radiation of the A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Centre, Moscow, 123182, Russian Federation. E-mail: lukyanovasn@yandex.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: 20 June 2017
Accepted: 05 July 2017

Введение

Данные литературы дают представление о реакции мозга человека на острое и хроническое облучение ЭМП РЧ нетепловой интенсивности [1–8]. Однако в настоящее время эта проблема сохраняет свою актуальность. Одним из насущных вопросов является прогноз ответной реакции организма человека на соответствующие воздействия с меняющимися режимами, структурами и условиями облучения, что наблюдается в быту и на производстве. Решение этой задачи, несомненно, имеет практическую значимость и требует накопления материала исследований. К этому аспекту и относятся данные, представленные в настоящей статье.

Определяющее значение ЦНС в развитии биоэффектов ЭМП РЧ нетепловой интенсивности отводит ведущую роль изучению реакций мозга на данное воздействие [1–8]. Среди большого числа показателей активности мозга наиболее часто используемым и доступным является электроэнцефалограмма (ЭЭГ), в которой находят свои отражения врожденные и приобретенные особенности развития ЦНС и ее функциональные свойства. От исходных значений ЭЭГ в фоне может зависеть наличие, характер и выраженность ответа на воздействия различных модальностей, в том числе и на ЭМП [3, 9]. По данным литературы, основная реакция мозга (по показателю ЭЭГ) на воздействие ЭМП РЧ, не вызывающее регистрируемого нагрева ткани, сводится к усилению альфа-диапазона [1 ÷ 6]. Его выраженность в ЭЭГ коррелирует с функциональным состоянием организма, работоспособностью и влияет на реакцию на различные воздействия, в том числе и на ЭМП РЧ [3, 11, 12].

Важное значение для развития реакций мозга на ЭМП нетепловой интенсивности имеют также экспозиция, параметры и структура облучения, дополнительные обстоятельства (состояние здоровья, сопутствующие воздействия других модальностей) [3, 10]. Каждый из отмеченных моментов необходимо учитывать при прогнозе возможной реакции мозга на новое воздействие соответствующей природы.

Данные литературы о результатах хронического облучения включают и материал обследования работающих в условиях ЭМП РЧ нетепловой интенсивности [7, 8], которые в связи с различными и меняющимися параметрами требуют постоянного анализа. Клинический материал, представленный в статье, получен врачом-неврологом Н.И. Карпиковой [13]. Анализ, обработка и обсуждение этих данных были выполнены авторами совместно. Основные параметры воздействия (несущая частота, плотность потока энергии (ППЭ)) находились в пределах радиочастотного диапазона нетепловой интенсивности, а главный предмет анализа – ЦНС, что соответствовало профилю представляемой статьи.

Приведенные результаты исследований дополняют данные литературы по ряду позиций: еще одни конкретные параметры и условия облучения, возможность оценки ЭЭГ в период экспозиции (путем замены металлических электродов), зависимость проявления реакции от типологических ЭЭГ-особенностей, обсуждение вопроса о значимости этих реакций для организма и возможность их влияния на работоспособность.

Материал и методы

Данные, получены в исследованиях с участием испытуемых-добровольцев и в результате обследования работающих в условиях воздействия ЭМП РЧ нетепловой интенсивности. В центре анализа – ЭЭГ с параллельной регистрацией комплекса физиологических показателей для оценки изменений в состоянии организма.

В изучении нейроэффектов ЭМП РЧ принимали участие 39 испытуемых-добровольцев (практически здоровые мужчины в возрасте 25–40 лет). Проведены 11 серий с облучениями преимущественно головы человека ЭМП с различными несущими, режимами, параметрами и экспозициями. Это разнообразие СВЧ ЭМП создавали, используя промышленный генератор Г4–121 (табл. 1) или абонентские терминалы трех стандартов сотовой связи. В последнем случае это были GSM-900, DCS-1800, NMT-450 – с ППЭ на уровне головы: 52,17 мкВт/см², 61,25 мкВт/см², 78,93 мкВт/см² соответственно. Подробная характеристика моделей, параметров и условий облучения описана авторами статьи ранее [3, 4]. Это были три самостоятельные серии (№№ 7, 8, 9) с участием 10 испытуемых.

Таблица 1

Характеристика воздействий ЭМП, используемых в исследованиях

Несущая частота, ГГц	Режим облучения, условное обозначение	Характеристика импульса			ППЭ средняя мкВт/см ²	Экспозиция, мин	Количество добровольцев/ воздействий
		F, Гц	τ, мс	ППЭ мкВт/см ²			
1,5	непрерывный, НР1				200	5	19/54
6	НР2				300	5	20/67
1	НР3				300	5 мин 6–10 раз с интервалами в 5÷15 мин	10/71
1,5	импульсный меандр, ИР1	100	5	200	100	–	19/28
1	ИР2	13 → 9 за 0,5 мин	25	200	52,5	–	10/89
1,5	ИР3	0,12	16	300	0,58	15	10/15

Примечание. Каждую серию с ЭМП сопровождали контроли с ложным облучением различной длительности (однократно 5 мин или 8–10 повторов по 5 мин с интервалами 5 ÷ 15 мин). Количество испытуемых и воздействий соответствовало основным сериям с ЭМП-облучением.

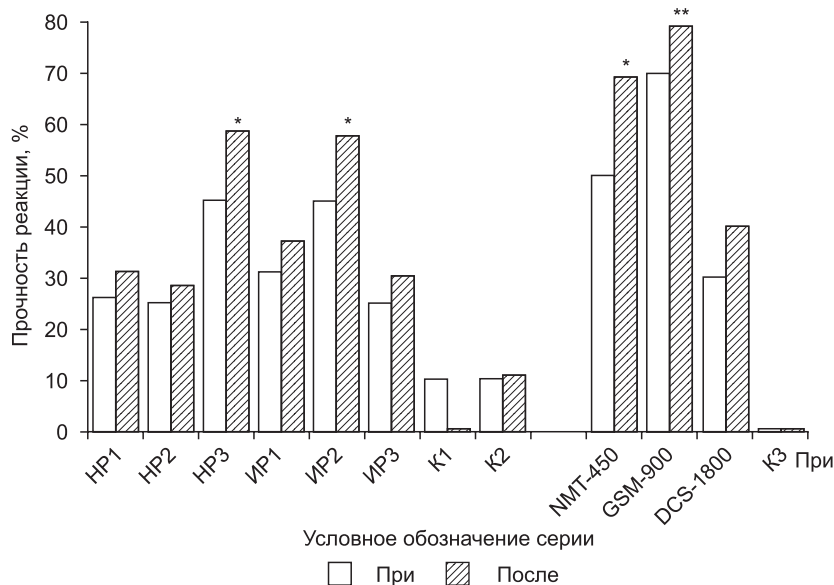


Рис. 1 Сравнительная характеристика процента изменений в ЭЭГ испытуемых на ЭМП РЧ различных режимов, параметров и экспозиций.

Ось ординат – прочность реакции (процентное отношение количества достоверных изменений к общему количеству воздействий). Ось абсцисс: K1, K2 – контроли с ложными включениями промышленного генератора однократно или с перерывами, K3 – ложное включение сотового телефона; HP, IP – условные обозначения воздействий, описанных в методике; DCS, NMT, GSM – ЭМИ соответствующих стандартов сотовой связи. *, ** – $p < 0,05$ относительно контроля и режимов непрерывного и импульсного воздействий, соответственно. Приведены реакции по ЭЭГ-показателю в теменно-затылочной области мозга. В каждой серии $n > 10 < 20$.

Самостоятельная группа исследований сводилась к анализу функционального состояния испытуемых в условиях облучения ЭМП РЧ в режиме IP1 при функциональной нагрузке в виде 1,5-часового выполнения монотонной (серия № 10) или активной (серия № 11) работы оператора (19 испытуемых). Работа заключалась в отслеживании по экрану телевизора перемещения метки или строго с точки на точку в условиях круговой траектории (монотонная работа) или случайно (активная работа). Пропуск контролируемого момента, а также лишние нажатия, не предусмотренные инструкцией, оценивались как ошибки. Создание описанной рабочей модели, а также дифференцированный подсчет ошибок осуществлялись с помощью ПЭВМ по специально разработанной программе.

Каждый испытуемый в случайном порядке мог принимать участие в различных сериях с интервалом в 1 неделю. В одном исследовании кратковременное облучение (5 или 15 мин) могли предъявлять от 2 до 10 раз с различными интервалами. Облучению подвергали главным образом голову человека, который комфортно располагался в кресле в свето- звукоизолированной камере для электрофизиологических исследований. Камера была предназначена для исследований с ЭМП РЧ, облицована радиопоглощающим материалом типа «Дон» на основе феррита с коэффициентом отражения –30 дБ.

Функциональное состояние организма человека анализировали по комплексу физиологических показателей: ЭЭГ, реоэнцефалограмма (РЭГ), электрокардиограмма (ЭКГ), электромиограмма (ЭМГ), артериальное давление (АД), пневмограмма (ПГ), температура кожных покровов (t°), тремор.

Специально созданный аппаратный комплекс из приборов японского и итальянского производства позволял записывать и анализировать указанные показатели непосредственно в процессе исследования. Используемый в работе анализатор ЭЭГ «Berg Fourgier» (Италия) позволял в процессе исследования наблюдать динамические изменения спектров ЭЭГ с отражением переливов энергии по полосам, а также фиксировать частоты, доминирующие в той или иной полосе в любой заданный момент времени. Эту информацию использовали для получения данных о типологических особенностях ЭЭГ испытуемых, анализируя хорошо известный клинический тест «открой – закрой глаза». Отведение

биопотенциалов осуществляли традиционными методами по системе 10–20, широко описанными в литературе. Поскольку голова испытуемого находилась в зоне действия ЭМП РЧ, то для записи ЭЭГ и РЭГ использовали так называемые безартефактные электроды и провода, которые ранее нами были неоднократно описаны [14, 15].

Материал хронического действия ЭМП РЧ был получен в результате обследования научных сотрудников ВНИИЭФ. Так, 53 человека работали с устройствами, генерирующими СВЧ ЭМП, а 30 составили контрольную группу, которые отличались только тем, что не работали с данными генераторами. Облучаемая группа 80% рабочего времени находилась в ближней зоне СВЧ ЭМП (1 ГГц, пачечно-импульсный режим: частота пачек составила 32 Гц, импульсов – 250 кГц при длительности 32 мкс). Колебания ППЭ на рабочем месте могли составить (в связи с ближней зоной) от 0,34 мкВт/см² до 314 мкВт/см² за период 5–8 ч/сут. Мода в кривой распределения этих значений приходится на 0,7 мкВт/см² [13]. Обследуемые – мужчины 24–60 лет, проработавшие на данном объекте от 1 года до 35 лет. Материал накоплен за 20 лет в результате ежегодных обследований. В итоге было сформировано 4 группы в соответствии со стажем работы: до 5 лет (основная и контрольная группы по 10 человек); до 15 лет (соответственно 14 и 7); до 25 лет (24 и 6); до 35 лет (15 и 17 человек).

Процедура обследования включала: неврологический мониторинг, запись РЭГ, ЭЭГ, ЭКГ. Каждый из методов не выходил за рамки традиционно используемых и принятых при данных исследованиях [13]. В пределах данной статьи представляется только итоговый результат, связанный с зависимостью неврологических проявлений у работающих от стажа работы.

Обработку полученного материала авторы осуществляли стандартными способами, используя компьютерный пакет программ «Statistika» (Россия). Применяя параметрический критерий Стьюдента, оценивали изменения индивидуально для каждого испытуемого, сопоставляя фон, период экспозиции и первые 5 мин после выключения ЭМП. Непараметрические критерии χ^2 и знаков позволили сравнить полученные результаты по группе исследований в различных сериях.

Результаты и обсуждение

Полученные результаты дополняют имеющиеся сведения о нейроэффектах ЭМП РЧ нетепловой интенсивности, развивая представление о зависимости от параметров и биологической значимости воздействия для организма человека. Кратковременное облучение преимущественно головы человека ЭМП РЧ с различными параметрами (табл. 1) вызывало достоверные изменения по группе испытуемых только в биоэлектрической активности головного мозга. Основная форма реакций во всех случаях (несмотря на новые и разнообразные параметры) была однотипной, сохраняясь такой, какой она ранее была описана [3]. Изменения в ЭЭГ сводились к усилению альфа- и бета1-диапазонов, что лучше проявлялось сразу после экспозиции (рис. 1). Индивидуальная статистическая оценка по комплексу показателей выявила единичные случаи достоверных изменений и по другим показателям. Можно было наблюдать достоверное снижение частоты пульса на 5–10 уд./мин, температуры кожных покровов на 1–2 $^{\circ}$ C, амплитуды основной РЭГ-волны на 0,02–0,04 Ом и частоты дыхания. Каждое из этих изменений не выходило за пределы физиологической нормы, и не было достоверным по группе испытуемых. Приведенная характеристика реакции организма человека была характерна как для однократной 5–6-минутной экспозиции, так и для более длительного воздействия (15 мин, 50 мин, непрерывно или дробно, табл. 1). Различия наблюдали только в количестве ЭЭГ-изменений, свидетельствуя о большей эффективности дробного облучения (режимы IP1 и IP2). Особенность режима (в частности, ближняя зона), которая присутствовала в случае ЭМП

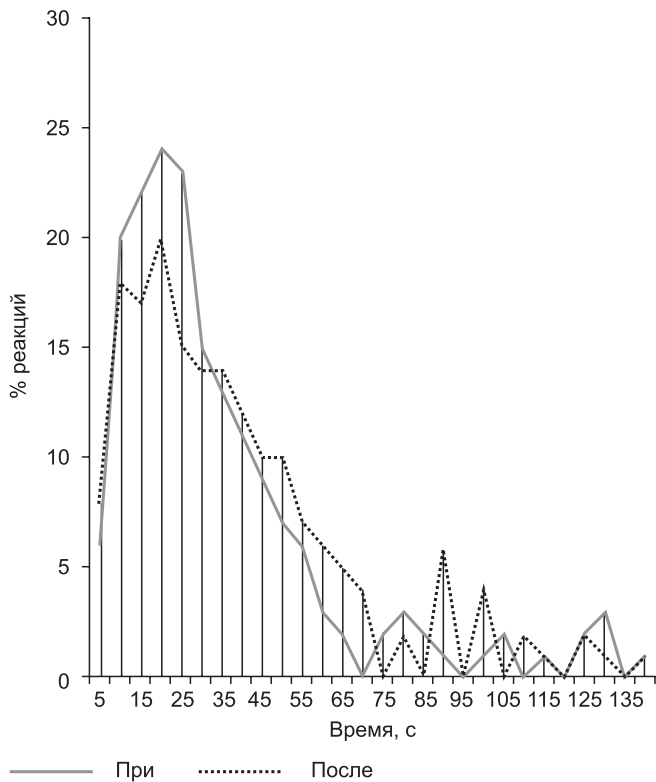


Рис. 2 Кривые распределения латентных периодов ЭЭГ изменений в теменно-затылочной области коры головного мозга испытуемого на ЭМП РЧ в период до и после экспозиции.

Примечание. Приведены суммарные данные по однократным кратковременным облучениям ЭМП РЧ различных режимов и параметров, представленных в методике. Каждая кривая – усреднённые данные по всем сериям с кратковременными облучениями ЭМП различных режимов, описанных в методике.

РЧ, создаваемых абонентскими терминалами сотовой радиосвязи стандартов GSM-900 и NMT-450, не влияла на феноменологию основной реакции. Однако процент этих изменений был достоверно больше, чем при всех остальных вариантах (рис. 1). Необходимо отметить, что реакция (в небольшом проценте случаев) могла заключаться в усилении и других диапазонов ЭЭГ, что особенно четко проявилось в серии «DCS-1800». В этом случае у 30% испытуемых повышался индекс не альфа-, а тета-диапазона, что можно было бы рассматривать как более сильное воздействие. Важно, что каждая из отмеченных реакций не выходила за пределы физиологической нормы, носила временный характер, соответствуя данным литературы [16]. Основная форма реакции чаще ограничивалась одной областью – теменно-затылочной – альфа-диапазон, или лобной (бета1-диапазон), что не сопровождалось изменением пространственной организации биопотенциалов. Приведённая совокупность результатов свидетельствовала о биологической значимости изучаемого воздействия как о слабом неспецифическом раздражителе для ЦНС. Это подтверждает и тот факт, что в первые 5 мин после выключения поля реакции наблюдались чаще (рис. 1) и реализовывались со своими латентными периодами. При экспозиции и после выключения моды в кривых распределения латентных периодов были сходными (5–10 сек) и основная масса реакций осуществлялась в течение 1 мин (рис. 2). Характеризуя реакцию мозга на кратковременное облучение, нельзя не отметить отсутствие существенного влияния частот несущих и модуляций в рассмотренных вариантах воздействий.

Сходные результаты тех же самых воздействий описаны и в экспериментах на кроликах, подчёркивая

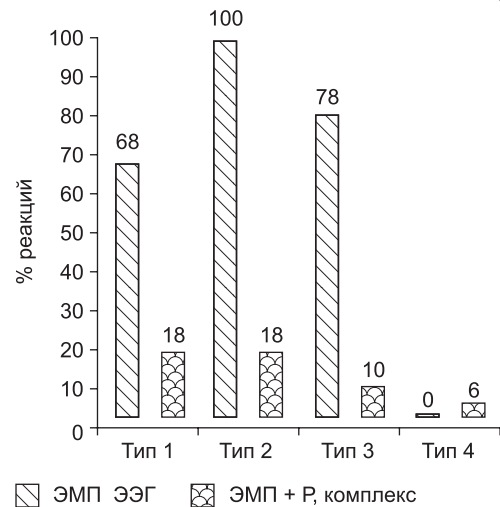


Рис. 3 Сравнительная характеристика зависимости основных проявлений реакции от типов ЭЭГ в сериях «ИР1» и «МР + ЭМП».

ЭМП ЭЭГ – наличие достоверных изменений только в ЭЭГ в результате воздействия только ЭМП, в этом случае наличие достоверных изменений по комплексу показателей отсутствует; ЭМП + Р, компл. – наличие значимых изменений по комплексу физиологических показателей в условиях комбинированного действия ЭМП и монотонной работы. Приведены только достоверные изменения по сравнению с контролем.

ведущую роль биологической значимости воздействия. В наших экспериментах на кроликах показано, что усилению альфа-диапазона ЭЭГ как реакции на ЭМП соответствует снижение частоты импульсации нейронов [3], т. е. усиление процессов торможения в ЦНС. Подобную реакцию может вызвать любой слабый (скорее, подпороговый) раздражитель, что трактуется как адаптационный ответ в виде охранительного торможения [17]. Именно для подпороговых раздражителей характерно большее проявление реакции после их отмены, чем при экспозиции [11, 12, 18].

Ведущая роль альфа-диапазона ЭЭГ в реакции мозга на ЭМП РЧ и зависимость изменений от фона, послужили основанием для его детального анализа. Заслуживал внимания тот факт, что для практически здоровых людей характеристика альфа-диапазона в спектрах ЭЭГ при открытых и закрытых глазах у одного и того же испытуемого была постоянной вне зависимости от даты наблюдения. Эта неоднократно воспроизводимая картина отражает индивидуальную типологическую особенность ЭЭГ испытуемого. Детальная характеристика альфа-диапазона ЭЭГ в фоне при открытых и закрытых глазах позволила разделить всех испытуемых на 4 группы [3, 4]. Для группы I характерен наибольший индекс альфа-диапазона в спектре ЭЭГ

Таблица 2

Влияние ЭМП на функциональное состояние испытуемого в условиях операторской деятельности

Серия	Количество испытуемых	% испытуемых с достоверными изменениями показателей					
		ЭЭГ	ККЭЭГ Fr-Og	частота пульса	РЭГ	АД	t° кожных покровов
«К»	19	26,3↑ α	15,7	21,1	15,7	5,3	15,7
«МР»	19	36,8↑ α	36,8*	15,7	21,1	15,7	26,3
«МР + ЭМП»	19	68,4↑ α **	68,4**	52,9**	52,9**	47,4**	68,4**
«АР»	10	70↑*	50	40	30	10	30
«АР + ЭМП»	10	60	30	40	30	0	30

Примечание. «К» – 1,5-часовое пребывание в экспериментальной обстановке без выполнения работы; «МР» – монотонная работа; «МР + ЭМП» – «МР» на фоне облучения ЭМП РЧ в режиме модуляции меандром («ИР1»); «АР» – активная работа; «АР + ЭМП» – «АР» на фоне облучения ЭМП РЧ в режиме модуляции меандром («ИР1»); КК – коэффициент кросскорреляции; * – $p < 0,05$ по χ^2 относительно серий «К»; ** – $p < 0,05$ по χ^2 относительно серий «К» и «МР».

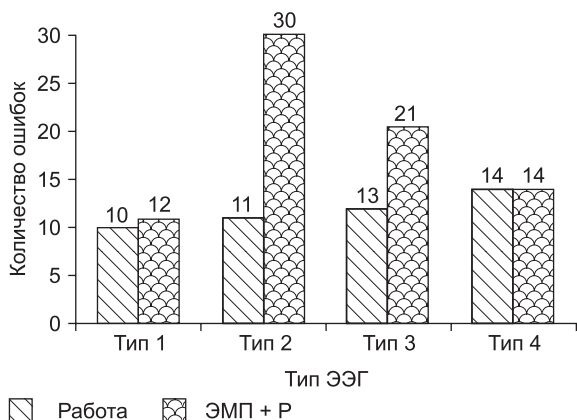


Рис. 4. Количество ошибок в операторской деятельности (В) в зависимости от типологических особенностей ЭЭГ испытуемых в условиях монотонной работы и комбинированного действия ЭМП + работа.

Работа – однообразная, монотонная работа оператора в течение 1,5 часа без облучения; ЭМП + P – та же работа на фоне облучения ЭМП в режиме ИР1.

при открытых и закрытых глазах. Отмечен его самый большой размах по амплитуде и частоте. Далее (от I к IV группам) эти показатели снижаются, достигая наименьшей выраженности в группе IV. Реакция на ЭМП PЧ наблюдалась, главным образом, у испытуемых II и III группы; реже – I и отсутствовала в группе IV. У испытуемых с IV типом ЭЭГ в фоне доминировал не альфа-, а тета-диапазон, свидетельствуя о состоянии умеренной активации, напряжения ЦНС. Это были люди, которые даже в спокойных комфортных условиях не способны расслабиться и продолжали решать свои проблемы.

То же самое мы наблюдали и в экспериментах на кроликах. На фоне умеренной выраженности альфа-диапазона реакция на постоянное магнитное поле и ЭМП PЧ в виде увеличения числа «веретен» в альфа- и бета1-диапазонах присутствовала, тогда как доминирование в фоне тета и бета2 препятствовало ее проявлению [3].

Таблица 3

Сравнительная характеристика неврологических проявлений в группе работающих с СВЧ-облучением и в контроле

Субъективные ощущения (жалобы)	Феноменология	
	работающие с СВЧ-облучением (n = 53); 500 обследований	контроль (n = 30); < 300 обследований
Головная боль	50,9**	16,7
Слабость, утомляемость	49,0**	6,7
Бессонница	26,4*	6,7
Раздражительность	26,4*	6,7
Боли в пояснице	24,5*	6,7
Головокружение	20,8*	0
Изменения в двигательной сфере		
Снижены сухожильные и периостальные рефлексы	86,8***	6,67
Не вызываются брюшные рефлексы	15,1*	0
Снижена реакция зрачков на свет	49,0**	0
Горизонтальный нистагм	52,8**	0

Примечание. *, **, *** – $p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$ относительно контроля по точному методу Фишера.

По данным литературы [16], сходную картину ЭЭГ-изменений может вызвать и монотонная однообразная работа, которая не требует умственного и эмоционального напряжения. В результате такого рода деятельности возможно развитие состояния утомления или монотонии. В наших исследованиях с участием 19 испытуемых оценивали комплекс физиологических показателей в процессе 1,5-часового выполнения монотонной или активной работы, в условиях ЭМП в сравнении с соответствующим контролем. В этом случае результаты свидетельствовали об отсутствии изменений в функциональном состоянии организма (по комплексу показателей) при активной или монотонной работе (табл. 2). Статистически достоверные изменения можно было наблюдать только в ЭЭГ. Как и следовало ожидать, они носили противоположный характер. В случае монотонной работы увеличивался индекс альфа, а при активной – тета. Успешность выполнения работы и функциональное состояние испытуемого зависели от типологических особенностей его ЭЭГ, что отражалось и в количестве ошибок (рис. 3 и 4). Например, в условиях монотонной деятельности их было выше у испытуемых с четвертым типом ЭЭГ, чем с первым ($14,0 \pm 0,21$ и $9,8 \pm 0,12$ соответственно). Этот результат можно объяснить тем, что альфа-диапазон – это не только провокация сна, но и состояние успокоенности, комфорта [12, 16]. Последнее способствует более четкому и стабильному выполнению определенных видов деятельности. При активной работе больше ошибок совершали испытуемые с I и IV типами ЭЭГ.

ЭМП в режиме «ИР1» в условиях активной работы не проявляло своего влияния: ни по одному из анализируемых показателей не отмечено достоверных изменений (табл. 2). Они отмечались только в случае монотонной деятельности. Единичные случаи склонности к развитию монотонии происходили только у испытуемых с I типом ЭЭГ (5 из 9), т. е. с более выраженным и лабильным альфа-диапазоном.

Зависимость от типологических особенностей ЭЭГ в этой серии («MP + ЭМП») проявилась несколько иначе: наибольший процент реакций наблюдали у испытуемых с I и II типами ЭЭГ. На рис. 3 приведена эта зависимость для наиболее значимых изменений: ЭМП – только ЭЭГ; «MP+ЭМП» – реакция по комплексу показателей, что отразилось и в количестве ошибок (рис. 4). Комбинированное действие монотонной работы и ЭМП PЧ-облучения, каждое из которых может вызвать усиление альфа-диапазона ЭЭГ, может оказать биологически более значимое влияние на функциональное состояние организма. Однако достоверного развития монотонии по группе испытуемых не наблюдалось.

В противоположность сказанному, на фоне активной работы, вызывающей повышение индекса тета-диапазона в ЭЭГ, влияние ЭМП в режиме «ИР1» не проявляется.

Результаты обследований людей, работающих в соответствующих условиях, показали возможность развития изменений в состоянии организма человека в зависимости от стажа работы. В клинической симптоматике ведущими были субъективные жалобы и изменения в двигательной сфере (табл. 3). Феноменология жалоб и преобладающий характер изменений в двигательной сфере – снижение сухожильных и периостальных рефлексов – свидетельствуют о развитии синдрома полинейропатии.

Анализ РЭГ, реовазографии (РВГ) показали нарушение кровенаполнения сосудов головы и конечностей, что в совокупности с повышением АД свидетельствует о формировании у работающих с СВЧ синдрома вегетососудистой дистонии.

На ЭЭГ отмечено: десинхронизация альфа-ритма (39,6%, контроль – 6,7, $p < 0,05$) и диффузная дизритмия (20,8%, в контроле – 0, $p < 0,05$). Это позволяет предполагать изменение взаимоотношений между корой и рядом подкорковых структур, что может быть основой полисистемного генеза синдрома вегетососудистой дистонии.

Проведенное исследование позволило представить основную феноменологию неврологических расстройств у работающих с СВЧ ЭМП: синдром вегетососудистой дистонии; астенический синдром; синдром вестибулопатии; синдром полинейропатии.

В зависимости от стажа работы неврологический статус изменялся, свидетельствуя о нарастании симптоматики. На рис. 5

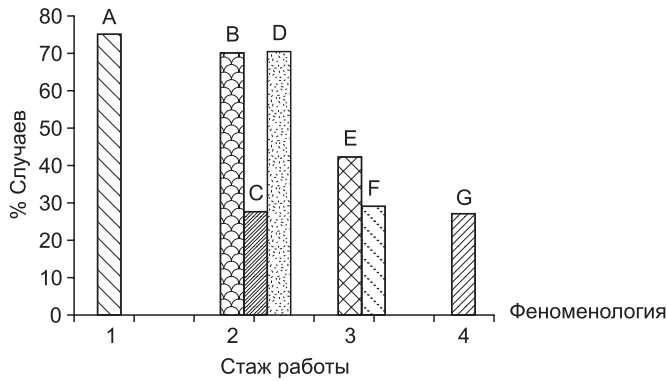


Рис. 5 Проявление симптомов в зависимости от стажа работы в условиях ЭМП.

A – снижение сухожильных и периостальных рефлексов; B – наличие жалоб; C – десинхронизация альфа ритма; D – снижение интенсивности кровоснабжения конечностей; E – повышение тонуса РЭГ; F – диффузная дизритмия; G – замедление клинико-статического рефлекса. Приведены только достоверные изменения по сравнению с контролем.

показано, на каком этапе работы какие симптомы впервые достоверно больше выражены, чем в контроле, хотя в меньшей степени их можно видеть и на других этапах. Так, на головные боли жаловались 25% работающих со стажем 1–5 лет, при стаже 6–15 лет – 30%, у работающих 16–25 лет количество жалоб достигает апогея – 62,5% ($p < 0,01$ относительно контроля); 26–30 лет – 53,3% ($p < 0,01$ относительно контроля). Со стажем работы усиливалось количество жалоб и иного рода: на бессонницу (5–15 лет), на головокружение и боли в области сердца (16–25 лет), на онемение рук и ног, на слабость и утомляемость (26–35 лет).

Двигательные расстройства в виде достоверного снижения сухожильных и периостальных рефлексов появляются на первом этапе работы, сохраняясь при ее продолжении до 35 лет. (75–93,3%, $p < 0,01$ относительно контроля). Уменьшение интенсивности кровоснабжения конечностей (по данным реовазограмм) появляется на втором этапе (6–15 лет, 70%, $p < 0,01$ относительно контроля) и сохраняется на этом уровне при продолжении работы до 35 лет.

Анализ заболеваемости с временной утратой трудоспособности за последние 5 лет у работающих с СВЧ РЧ зафиксирован в 266 случаях (1442 дня) на 100 человек, тогда как в контрольной группе отмечено 177 случаев (1083 дня) на 100 человек. Нозология заболеваний сводилась главным образом к ОРЗ, однако в 5,7% случаев отмечена НЦД и гипертоническая болезнь, что в контрольной группе не наблюдалось. Феноменология и возможный генез наблюдаемых изменений носили неспецифический характер. На этом основании была применена терапия и профилактика, обычно используемая в случае подобных неврологических расстройств [8, 19–21]. Это были медикаментозные и немедикаментозные методы лечения, которые применялись ранее и применяются сейчас при соответствующих нарушениях неспецифического характера, а также некоторые новые варианты, например, ноотропил и нормобарическая гипоксическая стимуляция «горный воздух» в режиме, близке к стрессовому. Этот комплекс мероприятий дал положительные результаты [13]: 95% работающих с ЭМП РЧ отметили улучшение самочувствия.

Закключение

Настоящее сообщение только подтверждает ранее высказанные авторами суждения, добавив новые варианты ЭМП-облучения и новые показатели реакции. Совокупность материала обосновывает заключение о том, что ЭМП РЧ нетепловой интенсивности может вызывать достоверные изменения в показателях жизнедеятельности организма. Однако их биологическая значимость различна, что в наибольшей степени определяется длительностью облучения, индивидуальными особенностями, наличием дополнительной нагрузки. Так, кратковременные облучения с различными параметрами могли изменять только биоэлектрическую активность головного мозга. Их характеристика: феноменология, латентный период, зависимость от фона и ти-

пологических особенностей ЭЭГ, большой процент изменений сразу после выключения, чем при экспозиции соответствует ответу на слабый (скорее, подпороговый) раздражитель для ЦНС. В условиях дополнительной нагрузки в виде работы оператора данное воздействие может оказать влияние на успешность ее выполнения, что определяется характером деятельности.

Результаты обследования работающих в условиях, соответствующих ЭМП, показали возможность развития неврологических нарушений в зависимости от стажа работы. ППЭ ЭМП действовали на работающих, значительно ниже существующих нормативов. Феноменология нарушений соответствует неспецифической «картине» развития вегетативных дисфункций. Ряд симптомов этого нарушения был описан клинистами ранее для случаев СВЧ-облучения. В настоящей работе их дополняют новые показания, такие как синдром полинейропатии, вестибулопатии.

На основании проведенной работы были сделаны следующие предложения:

1. При очередном решении вопроса о пересмотре ППЭ для лиц, профессионально связанных с импульсными СВЧ РЧ, учесть возможность развития нарушений в деятельности нервной системы в результате длительной работы в ближней зоне с ППЭ на рабочем месте в пределах 0,34–314 мкВт/см.

2. При рассмотрении вопроса о профессиональной вредности работающих в условиях низкоинтенсивных импульсных СВЧ учесть возможность развития синдрома вегетососудистой дистонии по гипертоническому типу, синдрома вегетососудистой дистонии по смешанному типу и гипертонической болезни в соответствии со стажем работы 1–5, 6–15, 16–25 и 26–35 лет соответственно.

3. Расширить методический аспект медицинских осмотров в случае профессионального отбора для работы в условиях СВЧ, а также ежегодные обследования для работающих, включая РЭГ, ЭЭГ, РВГ.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п.п. 18 см. References)

- Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на ЭМП. М.: Наука; 1975.
- Холодов Ю.А., Лебедева Н.Н. Реакция нервной системы человека на ЭМП. М.: Наука; 1992.
- Лукьянова С.Н. ЭМП СВЧ диапазона нетепловой интенсивности как раздражитель для ЦНС. М.: 2015.
- Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье. М.: Экономика; 2013.
- Савин Б.М., Рубцова Н.Б. Влияние радиоволновых излучений на ЦНС. В кн.: Физиология человека и животных. М.: ВИНТИ; 1978: 68–111.
- Суббота А.Г. Нетепловое действие микроволн на организм (обзор литературы). Военно-медицинский журнал. 1970; (9): 39–45.
- Тягин Н.В. Клинические аспекты облучения ЭМП СВЧ диапазона. Ленинград: Медицина; 1971.
- Зеленский А.В. Результаты динамического наблюдения за состоянием здоровья специалистов радиотехнических служб. В кн.: Гигиена труда и биологическое действие ЭМП НИИ ГТ и ПЗ АМН СССР. М.: 1963: 31–2.
- Асабаев Ч. Материалы по изучению чувствительности ЦНС животных к ЭМП СВЧ: Дисс. ... канд. биол. наук. М.; 1971.
- Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В., Павлова Л.Н., Колганова О.И., Посадская В.М. Влияние широкополосного импульсно-модулированного ЭМП низкой интенсивности на возбудимость ЦНС. Радиация и риск (Бюллетень национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2011; 20(2): 64–74.
- Гершуни Г.В. Изучение деятельности звукового анализатора человека на основе использования разных реакций. В кн.: Проблемы физиологической акустики. М.: АН СССР; 1955: 13–25.
- Кастандов Э.А. Нейрофизиологические механизмы неосознаваемых явлений. Успехи физиологических наук. 1981; 12(4): 3–27.
- Карпикова Н.И. Клинико-нейрофизиологическое исследование состояния нервной системы работающих в ближней зоне пачечно-импульсного СВЧ-облучения низкой интенсивности: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 1995.
- Григорьев Ю.Г., Лукьянова С.Н., Макаров В.П., Рысков В.В. Суммарная биоэлектрическая активность различных структур головного мозга в условиях низкоинтенсивного МКВ облучения. Радиационная биология. Радиоэкология. 1995; 35(1): 57–65.
- Лукьянова С.Н., Макаров В.П., Рысков В.В. Зависимость изменений суммарной биоэлектрической активности головного мозга на низкоинтенсивное МКВ-облучение от плотности потока энергии. Радиационная биология. Радиоэкология. 1996; 36(5): 706–9.

16. Лебедева Н.Н., Потулова Л.А., Мартей Р.А. Динамика ритмической активности коры человека при воздействии мобильного телефона. Биомедицинская радиоэлектроника. 2010; (10): 3–10.
17. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.Н. Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов-на-Дону; 1990.
19. Рожественская В.И. Индивидуальные различия работоспособности. Психофизиологическое исследование работоспособности в условиях монотонной деятельности. М.: Педагогика; 1980.
20. Успенская Н.В. Клиника хронического воздействия электромагнитных сантиметровых волн малой интенсивности: Автореф. дисс. ... докт. мед. наук. Ленинград; 1964.
21. Садчикова М.Н., Глотова Н.В., Снегова Г.В., Корневская С.П. Клиника и лечение радиоволновой болезни. В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных полей радиочастот. М.; 1972: 81–93.
10. Zhavoronkov L.P., Dubovik B.V., Pavlova L.N., Kolganova O.I., Posadskaya V.M. Influence of broadband pulse-modulated EMF of low intensity on CNS excitability. Radiatsiya i risk (Byulleten' natsional'nogo radiatsionno-epidemiologicheskogo registra). 2011; 20(2): 64–74. (in Russian)
11. Gershuni G.V. The study of the activity of the human sound analyzer based on the use of different reactions. In: Problems of Physiological Acoustics [Problemy fiziologicheskoy akustiki]. Moscow: AN SSSR; 1955: 13–25. (in Russian)
12. Kastandov E.A. Neurophysiological mechanisms of unconscious phenomena. Uspekhi fiziologicheskikh nauk. 1981; 12(4): 3–27. (in Russian)
13. Karpikova N.I. Clinico-neurophysiological study of the state of the nervous system in the near-field of a pulse-pulse microwave irradiation of low intensity: Diss. Moscow; 1995. (in Russian)
14. Grigor'ev Yu.G., Luk'yanova S.N., Makarov V.P., Rynskov V.V. Total bioelectric activity of various brain structures in conditions of low-intensity MCH of irradiation. Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. 1995; 35(1): 57–65. (in Russian)
15. Luk'yanova S.N., Makarov V.P., Rynskov V.V. Dependence of changes in the total bioelectrical activity of the brain on low-intensity MCW-irradiation on the energy flux density. Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. 1996; 36(5): 706–9. (in Russian)
16. Lebedeva N.N., Potulova L.A., Martey R.A. Dynamics of rhythmic activity of the human cortex when exposed to a mobile phone. Biomeditsinskaya radioelektronika. 2010; (10): 3–10. (in Russian)
17. Garkavi L.Kh., Kvakina E.B., Ukolova M.N. Adaptation Reactions and Resistance of the Body [Adaptatsionnye reaktsii i rezistentnost' organizma]. Rostov-na-Donu; 1990. (in Russian)
18. Dixon N.F. Henley S.H. Unconscious perception. Possible implications of data from academic practice. J. Nerv. Ment. Dis. 1991; 179(5): 243–52.
19. Rozhdestvenskaya V.I. Individual Differences in Performance. Psychophysiological Study of Working Capacity in Conditions of Monotonous Activity [Individual'nye razlichiya rabotosposobnosti. Psikhofiziologicheskoe issledovanie rabotosposobnosti v usloviyakh monotonnoy deyatel'nosti]. Moscow: Pedagogika; 1980. (in Russian)
20. Uspenskaya N.V. Clinic of chronic effects of electromagnetic centimeter waves of low intensity: Diss. Leningrad; 1964. (in Russian)
21. Sadchikova M.N., Glotova N.V., Snegova G.V., Korenevskaya S.P. Clinic and Treatment of Radio Wave Sickness. In: Hygiene of Labor and the Biological Effect of Electromagnetic Fields of Radio Frequencies [Gigiena труда i biologicheskoe deystvie elektromagnitnykh poлей radiochastot]. Moscow; 1972: 81–93. (in Russian)

References

1. Kholodov Yu.A. Reactions of the Nervous System to EMF [Reaktsii nervnoy sistemy na EMP]. Moscow: Nauka; 1975. (in Russian)
2. Kholodov Yu.A., Lebedeva N.N. Reaction of the Human Nervous System to EMF [Reaktsiya nervnoy sistemy cheloveka na EMP]. Moscow: Nauka; 1992. (in Russian)
3. Luk'yanova S.N. EmF of the Microwave Range of Nonthermal Intensity as an Irritant for the CNS [EMP SVCh diapazona neteplovoy intensivnosti kak razdrzhitel' dlya TsNS]. Moscow; 2015. (in Russian)
4. Grigor'ev Yu.G., Grigor'ev O.A. Cellular Communication and Health [Sotovaya svyaz' i zdorov'e]. Moscow: Ekonomika; 2013. (in Russian)
5. Savin B.M., Rubtsova N.B. Influence of radio waves on the central nervous system. In: Physiology of Man and Animals [Fiziologiya cheloveka i zhivotnykh]. Moscow: VINITI; 1978: 68–111. (in Russian)
6. Subbota A.G. Non-thermal action of microwaves on the body (literature review). Voenno-meditsinskiy zhurnal. 1970; (9): 39–45. (in Russian)
7. Tyagin N.V. Clinical Aspects of Irradiation of Electromagnetic Field of Microwave Range [Klinicheskie aspekty oblucheniya EMP SVCh diapazona]. Leningrad: Meditsina; 1971. (in Russian)
8. Zelenskiy A.V. Results of dynamic monitoring of the health of specialists in radio engineering services. In: Hygiene of Labor and Biological Action EMP SRI GT and PZ AMS USSR [Gigiena труда i biologicheskoe deystvie EMP NII GT i PZ AMN SSSR]. Moscow; 1963: 31–2. (in Russian)
9. Asabaev Ch. Materials on the sensitivity of the central nervous system of animals to EMF UHF: Diss. Moscow; 1971. (in Russian)

Поступила 20.06.17
Принята к печати 05.07.17

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 613.31, 615.01, 628.1

Иванов А.А.^{1,2}, Андрианова И.Е.¹, Мальцев В.Н.¹, Шальнова Г.А.¹, Ставракова Н.М.¹, Булынина Т.М.^{1,2}, Дорожкина О.В.^{1,2}, Караулова Т.А.¹, Гордеев А.В.¹, Бушманов А.Ю.¹

ВЛИЯНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ РАЗЛИЧНОГО КАЧЕСТВА НА ИНТАКТНЫХ И ОБЛУЧЁННЫХ МЫШЕЙ

¹ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123182, Москва

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской Академии Наук», 123007, Москва

В экспериментах на интактных мышцах при содержании их в течение 30–49 сут на питьевой воде с пониженным окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП) выявляются признаки модификации жизненного статуса: замедление прироста массы тела, снижение поведенческой активности, уменьшение массы тимуса и селезенки, признаки изменения состава микрофлоры кишечника, в сравнении с исходной водопроводной и дистиллированной водой. Снижение ОВП достигалось при дистилляции воды, а также путем электрохимической обработки на установке «Идеал». Кроме того, в эксперименте были использованы образцы воды с добавлением антиоксидантов: аскорбиновой кислоты и меланина, которые также обеспечивали снижение ОВП. При рентгеновском облучении в нелетальной дозе 1,5 Гр через 24 ч после воздействия радиации не было отмечено статистически значимых различий повреждающего эффекта радиации у животных, содержащихся на воде различного качества. В то же время при дозе облучения 5 Гр отмечено ускорение восстановления гематологических показателей и поведенческой активности при использовании воды с пониженным ОВП. Прием этих образцов воды после облучения способствовал статистически значимому увеличению числа эндогенных колоний кроветворения в селезенке по сравнению с применением водопроводной воды.

Ключевые слова: питьевая вода; окислительно-восстановительный потенциал; кроветворение; поведенческая активность; микрофлора кала; облучение.

Для цитирования: Иванов А.А., Андрианова И.Е., Мальцев В.Н., Шальнова Г.А., Ставракова Н.М., Булынина Т.М., Дорожкина О.В., Караулова Т.А., Гордеев А.В., Бушманов А.Ю. Влияние питьевой воды различного качества на интактных и облучённых мышей. Гигиена и санитария. 2017; 96(9): 854–860. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-9-854-860>

Для корреспонденции: Иванов Александр Александрович, д-р мед. наук, проф., зав. лаб. радиационной иммунологии и экспериментальной терапии радиационных поражений ФГБУ ГНЦ РФ «ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123098, Москва. E-mail: a1931192@mail.ru