

Попова О.А.¹, Попов В.И.¹, Механтьева Л.Е.¹, Соколова Н.В.²**ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ АДАПТАЦИИ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ ТОЩЕЙ КИШКИ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко», 394000, Воронеж;²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет», 394043, Воронеж

Введение. Из всего многообразия электромагнитных воздействий наиболее биологически активными являются импульсные электромагнитные поля, способные реализовывать свои эффекты опосредованно, через критические системы организма, приводя к изменениям гомеостаза, нарушению сложных регуляторных и координационных взаимоотношений. Одни и те же электромагнитные воздействия в зависимости от исходного функционального состояния организма могут вызывать адаптивные изменения или выступать в роли сильного стресс-раздражителя, в результате чего на смену приспособительных реакций приходит срыв адаптационных возможностей.

Материал и методы. Эксперимент выполнялся на лабораторных крысах-самцах 4-месячного возраста, в ходе которого рассматривали динамику отклонений от состояния гомеостаза показателей контрольных животных после пяти, семи и десяти месяцев воздействия импульсов электромагнитных полей, характеризующихся следующими параметрами: плотность наведённых токов 0,37; 0,7; 0,8; 2,7 кА/м²; периодичность импульсов в неделю независимо от их дробности 50, 100 и 500; длительность 15 ÷ 40 нс.

Результаты. Проведённый адаптометрический анализ хронодинамики морфофункциональных корреляционных связей структурных элементов слизистой оболочки тощей кишки позволил установить взаимосвязь между клеточными популяциями эпителио-соединительнотканного комплекса, говоря о нём как о единой системе, которая отражает реально существующие проявления индивидуальной вариабельности реактивных, дистрофических процессов и адапционно-приспособительных возможностей, в зависимости от воздействующих параметров электромагнитного фактора, выявляя различные последствия для облучаемого биологического объекта при их сочетаемости.

Обсуждение. В ходе обработки результатов эксперимента также были установлены «амплитудно-частотные окна», ранее регистрируемые в аналогичных условиях воздействия параметров иЭМП и для других высокочувствительных систем организма, таких как нервная и эндокринная, проявляющиеся отсутствием сдвигов по отношению к показателям контроля и указывающие на возможные проявления толерантности и/или адаптированности изучаемых показателей к отдельным параметрам иЭМП.

Ключевые слова: импульсы электромагнитных полей; митотическая активность; тучные клетки; радиоадаптация; слизистая оболочка тощей кишки; корреляционная адаптометрия.

Для цитирования: Попова О.А., Попов В.И., Механтьева Л.Е., Соколова Н.В. Индивидуальная вариабельность адаптации структурных элементов слизистой оболочки тощей кишки при хроническом воздействии импульсов электромагнитных полей. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(8): 703-709. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-8-703-709>

Для корреспонденции: Попова Олеся Александровна, канд. биол. наук, доцент, асс. каф. микробиологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко». E-mail: 89803438178soa@mail.ru

Popova O.A.¹, Popov V.I.¹, Mekhantieva L.E.¹, Sokolova N.V.²**INDIVIDUAL VARIABILITY OF ADAPTATION OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE JEJUNAL MUCOSAL MEMBRANE UNDER THE CHRONIC EXPOSURE OF PULSES OF ELECTROMAGNETIC FIELDS**¹N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, 394000, Russian Federation;²Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, 394043, Russian Federation

Introduction. Numerous studies in the field of electromagnetobiology, both theoretical and experimental-practical, show pulsed electromagnetic fields (EMF) to be the most biologically active, out of all the variety of electromagnetic influences. They have the ability to realize their effects indirectly through the critical systems of the body, manifesting themselves on the subcellular and cellular levels, leading to changes in homeostasis, and as a consequence to the disruption of complex regulatory and coordination relationships carried out in the whole organism. At the same time, the similar electromagnetic influences, depending on the initial functional state of the organism, can cause adaptive changes, or act as a stimulus for pronounced stress, as a result of which adaptive-adaptive reactions fail to adapt.

Material and methods. In the experiment performed on laboratory male rats, starting from the age of 4 months, there was considered the dynamics of the deviations from the homeostasis condition of the control animals after 5, 7 and 10 months of the exposure to pulses of electromagnetic fields, characterized by the following parameters: density of induced currents of 0.37; 0.7; 0.8; 2.7 kA/m²; frequency of pulses per week, regardless of their fractionality of 50, 100 and 500; duration 15 ÷ 40 nsec

Results. Performed adaptometric analysis of the chronodynamics of morphofunctional correlations between the structural elements of the jejunum mucous membrane made it possible to establish a correlation between the cellular populations of the epithelial-connective tissue complex of the intestinal system of the organism, speaking of it as a single system that takes part not only in the regulation of tissue homeostasis but also reflects the real manifestations of individual variability of reactive, dystrophic and adaptive processes depending on the influencing parameters of the electromagnetic factor, the radiation sources, the intensity and duration of the exposure, revealing the various consequences for the irradiated biological object with their compatibility.

Conclusion. *In the course of processing the results of the experiment, there were also established “amplitude-frequency windows”, previously registered under similar conditions for the effects of EMF parameters and for other highly sensitive body systems, such as nervous and endocrine, manifested by the absence of shifts in relation to the control indices and indicating possible manifestations tolerance and/or adaptation of the studied indices to individual parameters and EMF.*

Key words: *pulses of electromagnetic fields; mitotic activity; mast cells; radioadaptation; jejunal mucosa; correlation adaptometry method.*

For citation: Popova O.A., Popov V.I., Mekhantieva L.E., Sokolova N.V. Individual variability of adaptation of structural elements of the jejunal mucosal membrane under the chronic exposure of pulses of electromagnetic fields. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)* 2018; 97(8): 703-709. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-8-703-709>

For correspondence: Olesia A. Popova, MD, Ph.D., Associate Professor, assistant of microbiology department of the N. N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, 394000, Russian Federation. E-mail: 89803438178soa@mail.ru

Information about authors:

Popova O.A., <https://orcid.org/0000-0002-6687-0776>; Popov V.I. <https://orcid.org/0000-0001-5386-9082>; Mekhantieva L.E., <https://orcid.org/0000-0002-2439-3625>; Sokolova N.V. <https://orcid.org/0000-0002-5303-850X>.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Received: 01 March 2018

Accepted: 02 July 2018

Введение

Проблема изучения влияния электромагнитного излучения на организм человека по-прежнему остается актуальной, что находит свое подтверждение в многочисленных исследованиях, убедительно свидетельствующих о принадлежности электромагнитных полей (ЭМП) к активным повреждающим факторам в отношении здоровья людей [1–3].

Значительное количество опубликованных научных и экспериментальных работ сообщает о наличии возможных специфических нетепловых эффектов ЭМП, при этом импульсной организации облучения придают наиболее высокую значимость. В последние годы появляется все больше данных, которые показывают, что слабые импульсные электромагнитные поля (иЭМП) способны модулировать биоритмы и состояние ведущих стресс-систем организма, однако четкой зависимости выявленных биоэффектов, важных для оценки санитарно-гигиенических норм, от временных и физических характеристик так и не установлено [4–11].

Заслуживает внимания мнение, что механизмы и стратегия адаптации существенно различаются в зависимости от уровня организации системы, а многообразие реакций на слабые ЭМП укладывается в проявление общего адаптационного синдрома. При этом наиболее наглядно адаптация как механизм толерантности клетки и ткани регистрируется при хроническом облучении, а её основным показателем является способность к повышению радиорезистентности [12–15].

Данные работ [16–18] свидетельствуют о возможности наибольшей выраженности отсроченных эффектов воздействия ЭМП спустя несколько или десятки лет. Это связано с накоплением неблагоприятных реакций по мере повторных электромагнитных воздействий, что называется процессом кумуляции, а также с ускорением процессов старения организма и снижением его компенсаторных резервов. Важной особенностью именно хронического облучения является продолжительное воздействие, при котором биоэффекты повреждения органов, тканей и клеточных структур, с одной стороны, и адаптивные процессы, – с другой стороны, поддерживая физиологические механизмы клеточного и тканевого гомеостаза, возникают и протекают параллельно, а длительное облучение может приводить к снижению компенсаторно-приспособительных механизмов. Наряду с этим даже после прекращения действия электромагнитного излучения в случае дополнительного воздействия других физических факторов среды обитания человека отмечаются срывы адаптации, которые в совокупности приводят к существенному увеличению вероятности развития различных заболеваний со стороны основных критических и сенситивных систем организма, оказывая дополнительное триггерное влияние на ухудшение здоровья людей [6, 12, 13, 15].

Материал и методы

Экспериментальная возрастная модель, выполненная на лабораторных половозрелых белых крысах-самцах (351 животное, 13 групп), эквивалентная профессиональному воздействию для персонала от 22 до 45 лет, составляла от 4 до 14 месяцев, и для каждого срока эксперимента был определен возрастной контроль. Хронический эксперимент продолжался 10 месяцев. Животных подвергали воздействию редко повторяющихся широкополосных высокоамплитудных иЭМП ультракороткой длительности (15 ÷ 40 нс) на протяжении пяти, семи и десяти месяцев. Уровни воздействующего электромагнитного фактора подбирались с учетом коэффициента перерасчёта, давая адекватную возможность проведения интерполяции и экстраполяции так, чтобы плотность наведённых токов (ПНТ) в теле экспериментальных животных была эквивалентна и соизмерима для других уровней ПНТ в теле человека при его профессиональной деятельности и составила 0,37; 0,7; 0,8; 2,7 кА/м². В связи со статической неопределенностью периодичности работы персонала, эксплуатирующего испытательные установки, которые служат источниками электромагнитных импульсов, животные находились в свободном режиме передвижения при моделировании в условиях воздействия одноимённого фактора, а количество импульсов на каждом уровне воздействия, подаваемых в неделю независимо от их дробности, составляло 50, 100 и 500. Установки ПК-4, ОМ-20Т «Ладога-М», ПК-5 служили источниками, генерирующими иЭМП. Эвтаназия контрольных и экспериментальных животных осуществлялась декапитацией, которая проводилась в одно и то же время суток с предварительной наркотизацией.

В растворе Беккера фиксировали извлечённый фрагмент тощей кишки, который заливали в парафин после соответствующей обработки. Срединные продольные микросрезы толщиной до 6 мкм окрашивали по методике М.Г. Шубича с докраской

Показатели коэффициента корреляции между митотической активностью недифференцированных эпителиоцитов крипт тощей кишки, общим числом тучных клеток и их морфофункциональными типами

Возраст, мес	Клетки			
	общее число тучных	недугранулированные	дугранулированные	лизированные
9	0,32	-0,70	0,42	-0,72
11	0,34	-0,12	0,30	0,18
14	-0,08	-0,08	0,92	-0,82

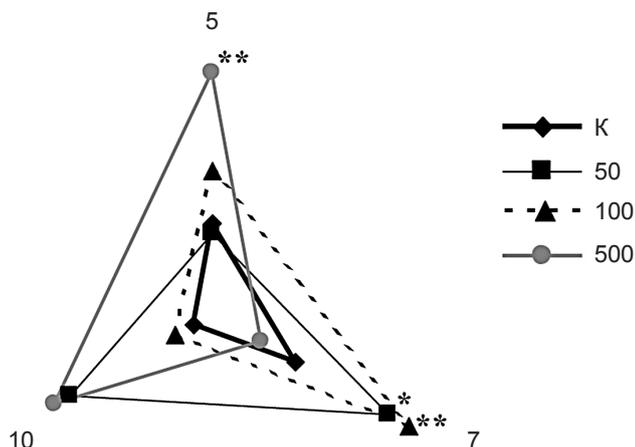


Рис. 1. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и ОЧТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 0,37 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

Здесь и на рис. 2–16: * – $p < 0,05$ по отношению к контролю, ** – $p < 0,01$ по отношению к контролю. И/н – импульсов в неделю.

гематоксилином, подсчитывая в них митотически делящиеся недифференцированные эпителиоциты двадцати продольно разрезанных крипт, а также тучные клетки на этом же по протяженности участке в соединительнотканной строме собственной пластинки слизистой оболочки тощей кишки между криптами. Затем идентифицировали их по морфофункциональным особенностям, позволяя оценить поражаемость и степень адаптационно-приспособительных возможностей и определить возможности гомеостаза на уровне организма.

Для оценки полученных данных нами был использован метод корреляционной адаптометрии [19], который позволяет осуществить анализ перестройки и изменений корреляционных линейных связей между общим числом тучных клеток межкриптовой стромы собственной пластинки слизистой оболочки и их морфофункциональными типами и митотической активностью каёмчатого эпителия кишки, а также оценить степень скоррелированности параметров электромагнитного облучения, возможное развитие поражения в результате хронического воздействия и степень отклонения состояния системы от нормы, выявив адаптивные эффекты как проявление приспособительной реакции данных клеточных популяций в возрастной модели условий воздействия иЭМП.

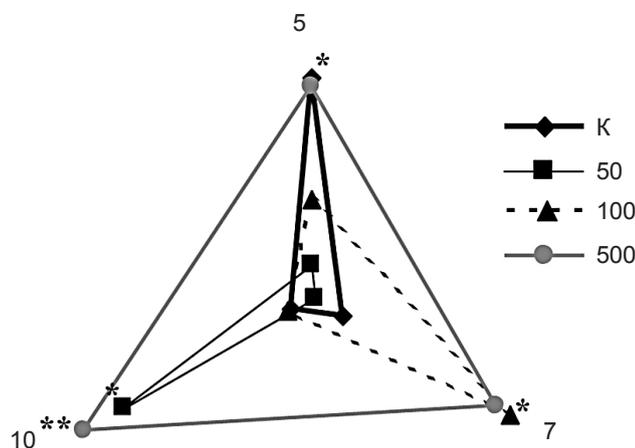


Рис. 2. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и НДЕГ ТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 0,37 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

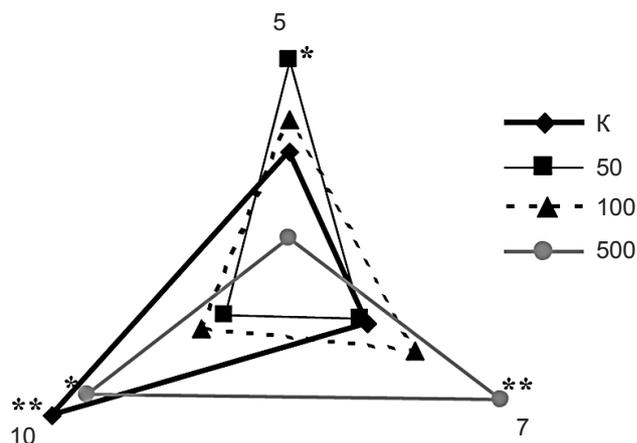


Рис. 3. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и ДЕГ ТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 0,37 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

Результаты

По результатам проведенного корреляционного анализа в контроле во всех возрастных группах между общим числом тучных клеток, а также их морфофункциональными типами, и митотической активностью каёмчатого эпителия кишки, состояние динамического равновесия выразалось преобладанием слабых связей и средней силы. При этом наиболее сильные корреляционные взаимодействия были обнаружены у 9-месячных крыс между митотической активностью, недегранулированными и лизированными тучными клетками, а у 14-месячных сильная зависимость пролиферации эпителия наблюдалась как от последних, так и от дегранулированных форм (см. таблицу).

После воздействия иЭМП с ПНТ 0,37 кА/м² полученные результаты были максимально приближены к состоянию гомеостаза через 5 месяцев для общего числа и лизированных тучных клеток при 50 И/н и для недегранулированных при 500 И/н; через 7 месяцев – также при 50 И/н для дегранулированных форм, а спустя 10 месяцев – при 100 И/н для недегранулированных (рис. 1–4).

Воздействие иЭМП с ПНТ 0,7 кА/м² не характеризовалось приближением полученных результатов к состоянию динамического равновесия контрольных животных через 5 месяцев для общего числа и недегранулированных тучных клеток при 500

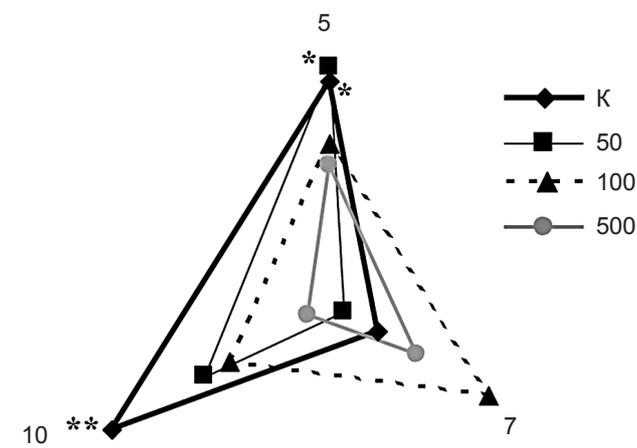


Рис. 4. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и ЛИЗ ТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 0,37 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

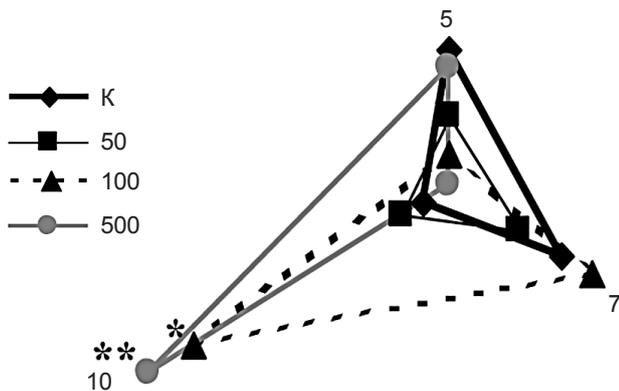


Рис. 5. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и ОЧТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 0,7 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

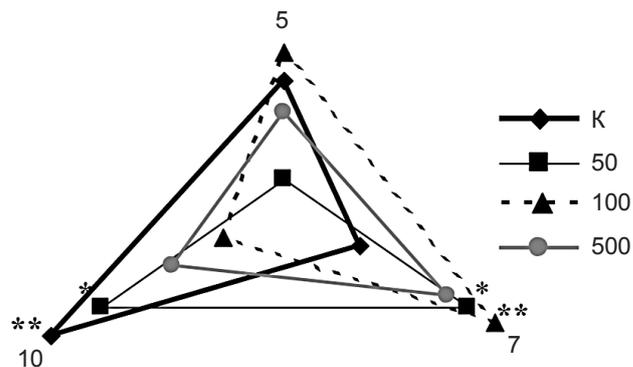


Рис. 7. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и ДЕГ ТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 0,7 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

и 100 И/н соответственно. Через 7 месяцев для лизированных форм при 100 И/н с максимумом адаптационно-приспособительных реакций после 10 месяцев воздействия (рис. 5–8).

После воздействия иЭМП с ПНТ 0,8 кА/м² полученные результаты приближались к гомеостатическому состоянию также через 5 и 7 месяцев при 100 И/н для лизированных и дегранулированных клеточных форм тучных клеток (рис. 9–12).

Воздействие иЭМП с ПНТ 2,7 кА/м² выявило приближение анализируемых показателей к гомеостатическому уровню через 5 и 10 месяцев для общего числа тучных клеток при 100 и 50 И/н соответственно; для лизированных форм – при 50 И/н через 5 месяцев, а также спустя 10 месяцев – для общего числа и лизированных тучных клеток при 50 И/н, и для недегранулированных форм при 100 И/н (рис. 13–16).

Обсуждение

Многочисленные анатомо-гистологические исследования свидетельствуют о том, что характерные специфические проявления желудочно-кишечного синдрома главным образом обусловлены поражением тонкой кишки, а именно её наиболее уязвимой части – компонентов слизистой оболочки, которые обеспечивают основополагающую всасывательно-пищеварительную функцию. Наиболее значимым морфофункциональным эквивалентом слизистой оболочки кишки является эпителий системы ворсинка – крипта, априорно принадлежащий к радиочувствительным тканям и относящийся к интенсивно обновля-

щимся клеточным популяциям, за счёт наличия малодифференцированных эпителиоцитов крипт [13, 16, 18, 20].

В работах Должанова А.Я. показано, что даже при воздействии ЭМИ низкой интенсивности выявляются фазовые изменения митотической активности эпителия крипт тощей кишки крыс, которые носят явный адаптивно-приспособительный характер, поскольку после прекращения электромагнитного воздействия количество митозов возвращается к норме [21, 22].

В проведённом нами исследовании в большинстве случаев регистрировалось снижение интенсивности пролиферации недифференцированных столбчатых эпителиоцитов крипт соединительнотканной стромы слизистой оболочки тощей кишки прямо пропорционально длительности воздействия. О существенном напряжении процессов адаптации и чрезвычайно неблагоприятном влиянии воздействия некоторых частотных режимов ЭМИ свидетельствует также состояние однослойного каёмчатого эпителия, регистрируемое на основе плотности расположения секреторных бокаловидных и каёмчатых столбчатых клеток эпителия ворсинок и крипт слизистой оболочки кишки у экспериментальных животных, подвергаемых курсовому воздействию нерезонансных частот (73 и 144 ГГц). Причём дополнительно наблюдался ряд отклонений в виде смешения соотношения данных видов клеток по сравнению с контролем: плотность расположения каёмчатых энтероцитов в ворсинках кишки была статистически значимо достоверно снижена, а бокаловидных клеток – напротив увеличена, видимо вследствие

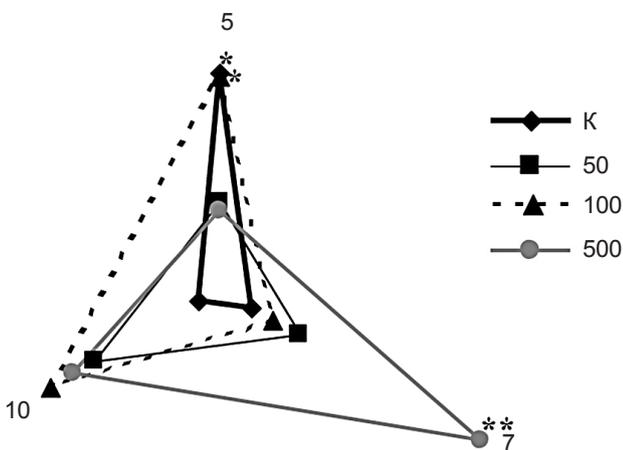


Рис. 6. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и НДЕГ ТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 0,7 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

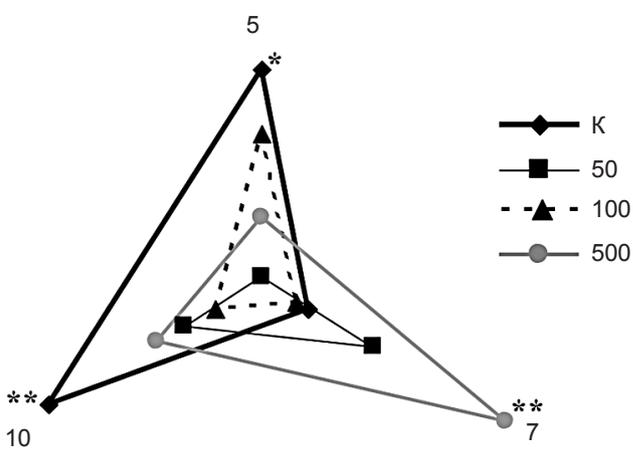


Рис. 8. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и ЛИЗ ТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 0,37 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

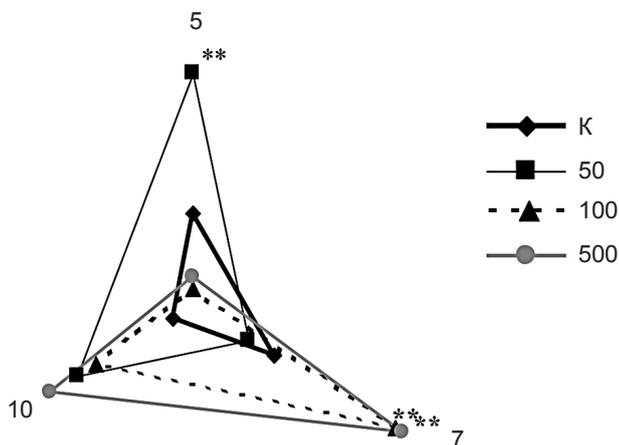


Рис. 9. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и ОЧТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 0,8 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

изменения направления дифференцировки базальных стволовых клеток [23].

Кроме того, следует отметить, что спустя 7 и 10 месяцев воздействия иЭМП с ПНТ 0,8 кА/м² и периодичностью 50 и 500 И/н соответственно, нами был зарегистрирован так называемый «эффект амплитудно-частотного окна», который выявлялся и в отношении других высокочувствительных систем организма, таких как эндокринная и нервная. При этом эффекте отсутствуют регистрируемые существенные изменения изучаемых критериев у контрольных и экспериментальных животных, тем самым указывая на их возможную устойчивую толерантность или свидетельствуя об адаптированности к определённому комплексно-сочетанному воздействию некоторых параметров иЭМП [24–28].

Юрина Н.А. и соавт. в качестве одного из важных критериев реактивности и полноценности адаптации структур организма к действию электромагнитного фактора рассматривают тучные клетки соединительной ткани. Это обусловлено тем, что они наиболее чувствительны к получаемым внешним воздействиям, особенно если они располагаются вблизи мельчайших сосудов, где ток крови стимулирует их перемещение в посткапиллярных венулах вдоль и через базальную мембрану за счёт секреции гистамина.

Несмотря на то что тучные клетки в зависимости от органной локализации имеют ряд морфологических, биохимических

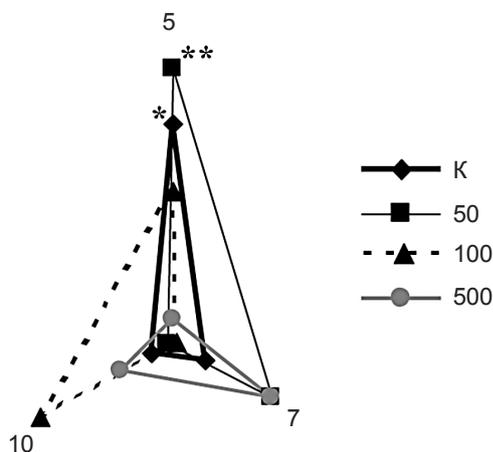


Рис. 10. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и НДЕГ ТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 0,8 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

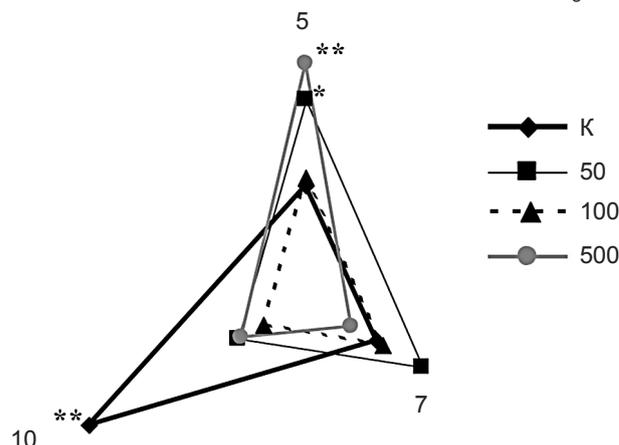


Рис. 11. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и ДЕГ ТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 0,8 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

и иммунологических особенностей, все они обладают уникальной способностью регулировать тканевый гомеостаз путём способности изменять степень проницаемости сосудов и межклеточного вещества, а также функционирования клеточных элементов соединительных тканей. Динамика численности и морфогистохимические особенности тучных клеток рассматриваются как важнейший индикатор функциональной активности органа, крайне чувствительно реагирующий на изменение как уровня метаболизма, так и функциональной нагрузки. Следовательно, регистрируемое нами усиление секреторной активности тучных клеток в условиях проделанного эксперимента также достоверно отражает адаптивные процессы при воздействии различных параметров иЭМП [14, 29, 30].

Установленные в ходе данного экспериментального исследования взаимосвязи между изучаемыми клеточными популяциями собственной пластинки слизистой оболочки тощей кишки и её соединительно-тканной стромы позволяют говорить о них как о единой морфофункциональной регулируемой системе, которая достоверно отражает адаптивные процессы и принимает участие и в поддержании тканевого гомеостаза, проходящих в условиях воздействия иЭМП в изученных параметрах.

При этом, по данным проведённого корреляционного анализа и адаптометрии, наивысший уровень приспособительных реакций фиксировался через 5 мес. после воздействия иЭМП независимо от плотности наведённых токов с периодичностью

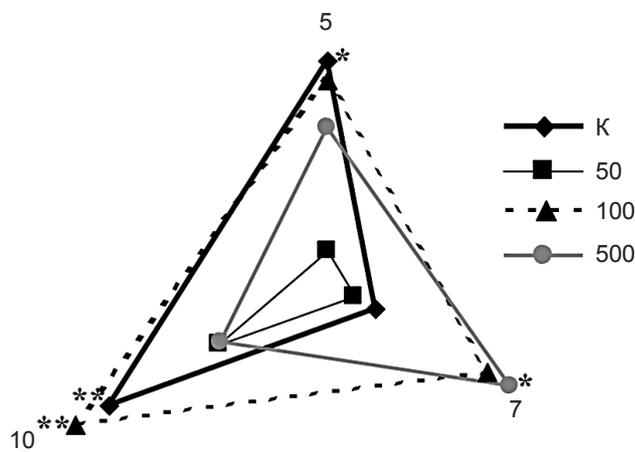


Рис. 12. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и ЛИЗ ТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 0,8 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

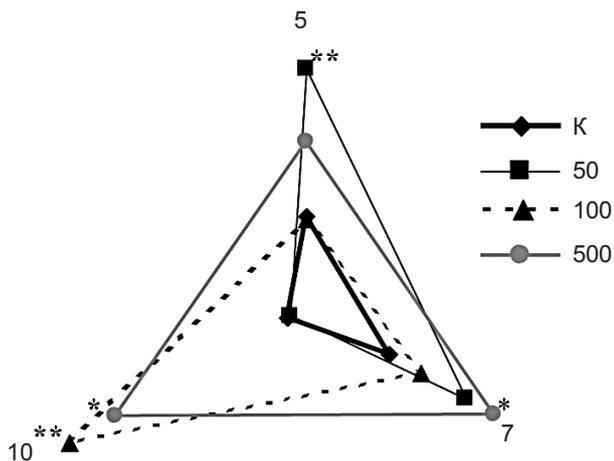


Рис. 13. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и ОЧТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 2,7 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

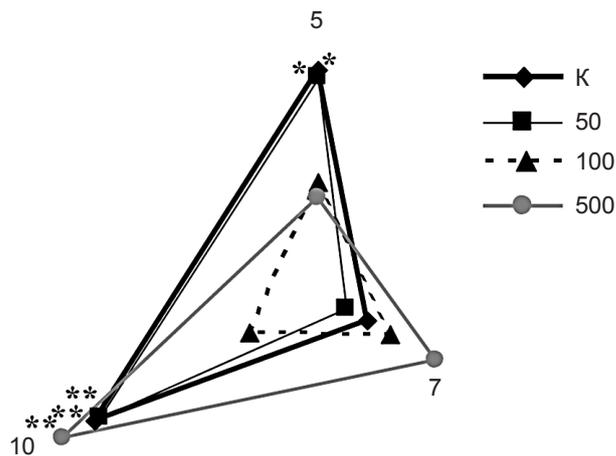


Рис. 16. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и ЛИЗ ТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 2,7 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

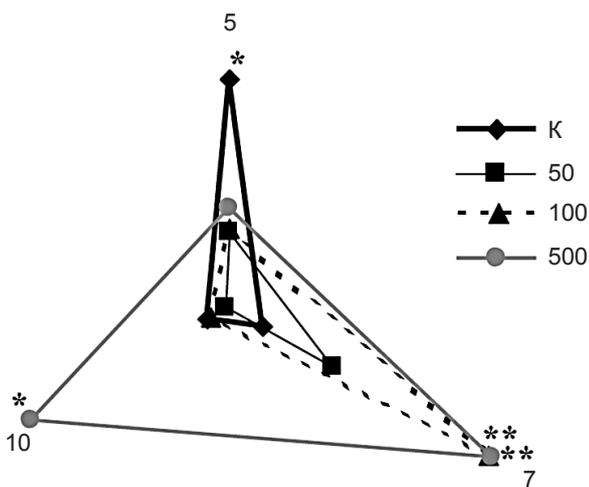


Рис. 14. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и НДЕГ ТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 2,7 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

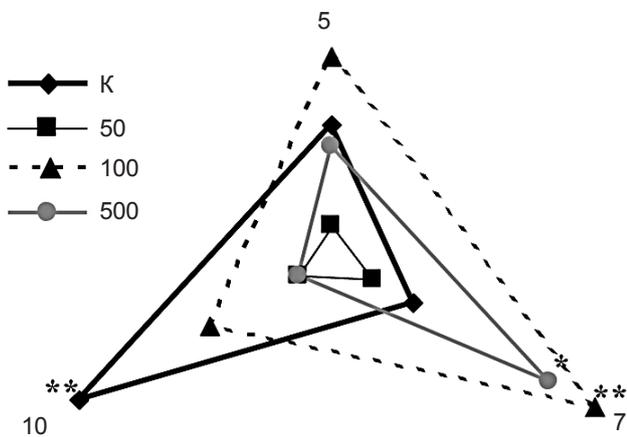


Рис. 15. Модель корреляционной адаптометрии показателей МА недифференцированных эпителиоцитов и ДЕГ ТК в условиях 5-, 7-, 10-месячного воздействия иЭМП с ПНТ 2,7 кА/м² и всех значениях периодичности И/н.

50 и 100 И/н. Однако чаще гомеостатическое состояние регистрировалось между общим числом тучных клеток межкрип- тальной стромы слизистой оболочки тощей кишки, их неде- гранулированными и лизированными формами и митотической активностью недифференцированных эпителиоцитов крипт, что убедительно указывает на их участие в модификации эффектов иЭМП по отношению к процессам пролиферации и обновления каемчатого эпителия ворсинок. Кроме того, в проведенных нами исследованиях было найдено подтверждение того, что на реги-стрируемые биоэффекты как прямо так и опосредованно ока- зывают влияние длительность воздействия электромагнитного фактора, интенсивность иЭМП и частота подаваемых импуль- сов, сочетание которых запускает различные адаптационно-при- способительные последствия для облучаемого объекта.

Заключение

Таким образом, установленные нами морфофункциональные взаимодействия клеточных популяций собственной пластинки и проведенное моделирование корреляционной адаптометрии на основе анализа изученных материалов, убедительно свидетель- ствуют о необходимости учитывать систему эпителио-соедини- тельнотканного комплекса, который обеспечивает поддержание постоянства и полноценное функционирование слизистой то- щей кишки, демонстрируя ведущую роль популяции ТК меж- криптальной стромы, регулирующей не только функции клеток своего микроокружения и пролиферативную функцию эпителия, но и решающей адаптационные проблемы на уровне тканей, ко- рдинируя и поддерживая гомеостаз, что, по-видимому, связано с вариабельностью компенсаторно-приспособительных реакций на изученные воздействия, а также с их непосредственным уча- стием в регуляции адаптации и функциональной деятельности кишечного эпителия при воздействии внешних факторов окру- жающей среды.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии финансовой под- держки статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

(пп. 8, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 20, 22, 28 см. References)

1. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А., Иванов А.А., Лягинская А.М., Мер- кулов А.В., Степанов В.С. Мобильная связь и изменение электро- магнитной среды обитания населения. Необходимость дополни- тельного обоснования существующих гигиенических стандартов. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2010;50 (1): 6-14.
2. Григорьев Ю.Г. *Электромагнитные поля и Здоровье человека*. М.: Из- дательство Российского университета дружбы народов, 2002. 177 с.

3. Шарохина А.В. Электромагнитное поле в быту. *Материалы докладов первой Всерос. молодежной науч. конф. «Тинчуринские чтения»*. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т. 2006; Т.2. 161-3.
4. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Мобильная связь и здоровье населения. Оценка опасности, социальные и этические проблемы. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2011; 51 (3). 357-68.
5. Мельниченко П.И., Ушаков И.Б., Попов В.И., А.С. Фаустов, Ю.Е. Вязовиченко, А.В. Датий, Н.В. Соколова. *Гигиена: словарь-справочник*. М.: Высшая школа; 2006. 400 с.
6. Грязев М.В., Куротченко Л.В., Куротченко С.П., Луценко Ю.А., Субботина Т.И., Хадартцев А.А. *Экспериментальная магнитобиология: воздействие полей сложной структуры*. Москва - Тверь - Тула: Триада; 2007. 112 с.
7. Шандала М.Г., Зуев В.Г., Ушаков И.Б., Попов В.И. *Справочник по электромагнитной безопасности работающих и населения*. Воронеж: Истоки; 1998. 82 с.
9. Ушаков И.Б., Турзин П.С., Агаджанян Н.А., Попов В.И., Чубирко М.И., Фаустов А.С. *Экология человека и профилактическая медицина*. Воронеж: ИПФ «Воронеж»; 2001. 488 с.
12. Аклев А.В., Аклев А.А. Адаптация клеток и тканей к хроническому воздействию радиации. В кн.: *VI Съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность)*. М.: РУДН; 2010; (1): 267-9.
13. Хадартцев А.А., Яшин А.А. *Патогенные воздействия неионизирующих излучений на организм человека*. Москва-Тверь-Тула: Триада; 2007; 160 с.
16. Хадартцев А.А., Воронцова З.А., Есауленко И.Э., Дедов В.И., Гонтарев С.Н., Попов С.С., Свиридова О.А. *Морфофункциональные соотношения при воздействии импульсных электромагнитных полей*. Тула-Белгород: 2012; 120 с.
19. Герасимов А.Н. *Медицинская статистика: учебное пособие*. М.: ООО Медицинское информационное агентство; 2007. 480 с.
21. Должанов А.Я., Воронцова З.А., Зуев В.Г. Митотическая активность кишечного эпителия при хроническом воздействии электромагнитного фактора. *Труд. эколог. конгресса*. М. 2002; 32-4.
23. Родзаяевская Е.Б., Евсеев И.С., Чупрова А.В. Динамика клеточных популяций в тонкой кишке крыс при воздействии низкоинтенсивного электромагнитного излучения различных частот ГГц-диапазона. *Морфология. Архив анатомии, гистологии и эмбриологии*. 2009; 136 (4): 120-1.
24. Грязев М.В., Куротченко Л.В., Куротченко С.П. *Экспериментальная магнитобиология: воздействие полей сложной структуры*. Москва-Тверь-Тула: ООО «Издательство «Триада»; 2007. 112 с.
25. Бугримов Д.Ю. Математическое моделирование морфофункционального состояния спинномозговых ганглиев при хроническом воздействии импульсов электромагнитных полей: автореф. дис. канд. мед. наук. Воронеж. гос. мед. акад. - Воронеж; 2008. 22 с.
26. Воронцова З.А., Золотарева С.Н. *Модифицирующие эффекты комбинированных и сочетанных воздействий*. Германия, 2011. 189 с.
27. Попов С.С. Морфофункциональные изменения нейросекреторных клеток крупноклеточных ядер гипоталамуса при хроническом воздействии импульсов электромагнитного поля: автореф. дис. канд. мед. наук. М., 2004. 22 с.
29. Юрина Н.А. Тучные клетки как тест состояния организма при электромагнитных воздействиях разной интенсивности. *Авиакосм. и экол. мед.* 1997; 2: 43-7.
30. Лукашин Б.П. *Гепарин и радиорезистентность*. СПб.: ООО изд-во ФОЛИАНТ. 2007. 128 с.
- impact of fields of complex structure. Moscow - Tver - Tula: Triada; 2007. 112. (in Russian)
7. Shandala M.G., Zuyev V.G., Ushakov I.B., Popov V.I. Reference book on electromagnetic safety of workers and the population. Voronezh: Istoki; 1998. 82. (in Russian)
8. Bienkowski P., Trzaska H. *Electromagnetic Measurements in the Near Field*. Second Revised/Ed. SciTech Publishing, Inc. Raleigh. NC. 2010. 49 p.
9. Ushakov I.B., Turzin P.S., Agadzhanjan N.A., Popov V.I., Chubirko M.I., Faustov A.S. Human ecology and preventive medicine. Voronezh: IPF "Voronezh"; 2001. 488 p. (in Russian)
10. Nikitina N.V. Hygienic, clinical and epidemiological analysis of disturbances induced by Radio frequency EMF exposure in human body.// Proceedings from the international workshop : Clinical and physiological investigation of people highly exposed to Electromagnetic fields, St. Petersburg (Russia), Okt. 16-17, 2000. St. Petersburg (Russia), 2000.
11. Johansson O. Aspects of studies on the functional impairment electrohypersensitivity. Int. conf. «Electromagnetic fields and health - a global issue»: London; 2008. 31-4.
12. Akleyev A.V., Akleyev A.A. Adaptation of cells and tissues to chronic effects of radiation. V kn.: *VI Syezd po radiatsionnym issledovaniyam (radiobiologiya, radioekologiya, Radiatsionnaya bezopasnost)*. Moscow: RUDN. 2010; .T. I.: 267-9. (in Russian)
13. Hadartsev A.A., Yashina A.A. Pathogenic effects of non-ionizing radiation on the human body. Moscow-Tver-Tula: Triad; 2007; 160 p. (in Russian)
14. Schwartz L., Huff T. Biology of mast cells and basophils. *Allergy: Principles and Practice* 4th. 1993; 135-68.
15. Hallberg O., Oberfeld G. Electromagnetic fields and the essence of living systems. *Electromagnetic Biol. Med.* 2006; 189-91.
16. Hadartsev A.A., Vorontsova Z.A., Esausenko I.E., Dedov V.I., Gontarev S.N., Popov S.S., Sviridova O.A. Morphofunctional relations under the action of pulsed electromagnetic fields. Tula-Belgorod: 2012. 120. (in Russian)
17. Black D.R., Heynick L.N. Radiofrequency (RF) effects on blood cells. cardiac, endocrine, and immunological functions. *Bioelectromagnetics*. 2003; 187-95.
18. Jauchem J.R. Effects of low-level radio-frequency (3kHz to 300GHz) energy on human cardiovascular, reproductive, immune, and other systems: a review of the recent literature. *Int. J. Hyg. Environ. Health*. 2008; V. 211. № 1-2: 1-29.
19. Gerasimov A.N. Medical statistics: a study guide. Moscow: ООО Meditsinskoye informatsionnoye agentstvo; 2007. 480. (in Russian)
20. Maaser C., Kagnoff M.F. Role of the intestinal epithelium in orchestrating innate and adaptive mucosal immunity. *Zeitschrift für Gastroenterologie*. 2002; 40 (7): 525-9.
21. Dolzhanov A.Ja., Voroncova Z.A., Zuev V.G. Mitotic activity of the intestinal epithelium during chronic exposure to the electromagnetic factor. *Work. ecologist. Congress. M.* 2002. 32-4. (in Russian)
22. P de Santa Barbara, GR van den Brink, DJ Roberts. Development and differentiation of the intestinal epithelium. *Cell Mol Life Sciences*. 2003; 60: 1322-32.
23. Rodzayevskaya E.B., Evseyev I.S., Chuprova A.V. Dynamics of cellular populations in the small intestine of rats under the influence of low-intensity electromagnetic radiation of various frequencies of the GGZ-range. *Morfologiya. Arkhiv anatomii, gistologii i embriologii*. 2009; 136(4): 120-21. (in Russian)
24. Grjazev M.V., Kurotchenko L.V., Kurotchenko S.P. Experimental magnetobiology: the impact of fields of complex structure. Moscow - Tver - Tula: ООО "Publishing house" Triada "; 2007. 112 p. (in Russian)
25. Bugrimov D.Ju. Mathematical modeling of the morphofunctional state of spinal ganglia in cases of chronic exposure to pulses of electromagnetic fields: author's abstract dis. Cand. med. Science. Voronezh. State. Med. acad. Voronezh; 2008. 22 p (in Russian)
26. Voroncova Z.A., Zolotareva S.N. Modifying effects of combined and combined effects. Germany, 2011. 189 p. (in Russian)
27. Popov S.S. Morphofunctional changes in the neurosecretory cells of large cell nuclei of the hypothalamus during chronic exposure to pulses of the electromagnetic field: author's abstract. dis. Cand. Med. sciences. M., 2004. 22 p. (in Russian)
28. V. Rajkovic Studies on the effect of 50 Hz electromagnetic field on the structure of the rat thyroid gland. *Acta morphol. et anthropol.* 2000; (5): 72-78.
29. Yurina N.A. Mast cells as a test of the state of the body under electromagnetic influences of different intensity. *Aviakosm. I ekol. med.* 1997; 2:43-7. (in Russian)
30. Lukashin B.P. Heparin and radioresistance. СПб.: ООО изд-во ФОЛИАНТ. 2007. 128 p. (in Russian)

References

1. Grigoryev Yu.G., Grigoryev O.A., Ivanov A.A., Lyaginskaya A.M., Merkulov A.V., Stepanov V.S. Mobile communication and changing the electromagnetic environment of the population. The need for additional justification for existing hygienic standards. *Radiatsionnayabiologiya. Radioekologiya*. 2010.; 50 (1). 6-14. (in Russian)
2. Grigor'ev Ju.G. *Electromagnetic fields and Human health*. Moscow: Publishing house of the Russian University of Peoples' Friendship, 2002. 177 p. (in Russian)
3. Sharohina A.V. *Electromagnetic field in everyday life. Materials of the reports of the first Vseros. youth scientific. Conf. "Tinchurinskies chteniya"*. Kazan: Kazan. state. power. un-t. 2006; T.2. 161-3. (in Russian)
4. Grigor'ev Ju.G., Grigor'ev O.A. Mobile communication and public health. Hazard assessment, social and ethical issues. *Radiatsionnayabiologiya. Radioekologiya*. 2011; 51 (3). 357-68. (in Russian)
5. Melnichenko P.I., Ushakov I.B., Popov V.I., A.S. Faustov, Yu.E. Vязovichenko, A.V. Daty, N.V. Sokolova. *Hygiene: a dictionary-reference*. Moscow: Vysshayashkola; 2006. 400. (in Russian)
6. Gryazev M.V., Kurotchenko L.V., Kurotchenko S.P., Lutsenko Yu.A., Subbotina T.I., Khadartsev A.A. *Experimental magnetobiology: the*