

УДК 616–018+613.163

© О. А. Попова, Е. С. Грошева, С. С. Попов, 2017

doi: 10.18499/2225-7357-2017-6-1-73-80

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИИ КЛЕТОЧНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ НЕОДНОРОДНЫХ ПО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОСЛЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

О. А. Попова, Е. С. Грошева, С. С. Попов\*

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»,  
г. Воронеж, Россия

БУЗ ВО Воронежская городская клиническая больница скорой медицинской помощи № 8,  
г. Воронеж, Россия

В настоящем исследовании изучалось хроническое (10 месяцев) воздействие редко повторяющихся широкополосных высокоамплитудных импульсов электромагнитных полей на нервную и эпителиальную ткани. Плотность наведенных токов в теле экспериментальных животных (белые лабораторные крысы-самцы,  $n = 351$ ) составляла 0.37, 0.7, 0.8 и 2.7 кА/м<sup>2</sup> с периодичностью 500, 100 и 50 импульсов в неделю независимо от их дробности ультракороткой длительности (15÷40 нс). Установлено, что в результате экспериментального воздействия в крупноклеточных ядрах гипоталамуса и слизистой оболочке тощей кишки активировались деструктивные и защитно-приспособительные процессы, выраженность которых зависела от плотности наведенных токов и периодичности импульсов. Сравнительный анализ реакции клеточных популяций показал, что глиальный компонент крупноклеточных ядер гипоталамуса был более чувствителен к хроническому воздействию, чем секреторные нейроны, что проявлялось в изменении численности глиоцитов при отсутствии сдвигов в содержании типов нейросекреторных клеток для ряда параметров. В реакции недифференцированных эпителиоцитов крипт наблюдалось угнетение их митотической активности, с увеличением коэффициента поражаемости эпителия в хронодинамике эксперимента. *Ключевые слова:* импульсы электромагнитных полей, крупноклеточные ядра гипоталамуса, нейросекреторные клетки, глиальные клетки, слизистая оболочка тощей кишки, недифференцированные эпителиоциты.

© О. А. Popova, E. S. Grosheva, S. S. Popov, 2017

Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, Russia

Voronezh Municipal Clinical Emergency Hospital №8, Voronezh, Russia

The Comparative Analysis of Heterogeneous Sensitivity Cellular Populations' Response for Chronic Electromagnetic Fields Impulses

In this research chronic (10 months) influence of seldom repeating broadband high-amplitude impulses of electromagnetic fields on nervous and epithelial tissues was studied. Density of the induced currents in a body of experimental animals (white laboratory rats males,  $n = 351$ ) constituted 0.37, 0.7, 0.8 and 2.7 kA/m<sup>2</sup> with frequency of 500, 100 and 50 impulses in a week irrespective of their divisibility of ultrashort duration (15÷40 ns). It is established that as a result of experimental influence on the big-cellular nucleuses of a hypothalamus and a jejunum mucous membrane destructive, protective and adaptive processes which expressiveness depended on density of the induced currents and frequency of impulses were activated. The comparative analysis of reaction of cellular populations showed that the glial component the of a hypothalamus big-cellular nucleuses was more sensitive to chronic influence, than secretory neurons that was shown in change of number of gliocytes in the absence of shifts in content of types the neurosecretory cells for a number of parameters. In reaction of undifferentiated epitheliocytes of crypts oppression of their mitotic activity, with increase in coefficient of an epithelium injured was observed in experiment chronodynamic.

*Keywords:* impulses of electromagnetic fields, big-cellular nucleuses of a hypothalamus, neurosecretory cells, gliocytes, jejunum mucous membrane, undifferentiated epitheliocytes.

### Введение

Экспериментальные и теоретические исследования, в области электромагнитобиологии показывают, что из всего многообразия электромагнитных факторов наиболее биологически активными являются импульсы электромагнитных полей (иЭМП), воздействие которых на организм может проявляться на субклеточном и клеточном уровнях, опосредованно, реализуя свои эффекты через кри-

тические системы, обладающие чувствительностью к электромагнитному излучению, а также приводя к изменениям относительного динамического постоянства внутренней среды, являющееся результатом нарушений сложных координационных и регуляторных взаимоотношений, осуществляемых в целостном организме [3, 7, 8].

Центром координации, регуляции и интеграции функций нервной и гуморальной систем, собирающим и обрабатывающим ин-

формацию о состоянии внешней и внутренней среды и осуществляющим соответствующую коррекцию с участием нервных и эндокринных механизмов, а также частью гуморального звена медленной системы реагирования организма на электромагнитные поля (ЭМП) является гипоталамус, крупноклеточные ядра которого – супраоптические и паравентрикулярные ядра (СОЯ и ПВЯ) играют важнейшую роль в ответе на длительное действие любого стрессора и через парааденогипофизарный путь, обеспечивают активацию естественной резистентности организма, основанной на защитно-приспособительных и компенсаторных процессах, определяя проявления на уровне целого организма [5].

Установление зависимости от воздействия параметров иЭМП структур интестинальной системы, а именно морфофункционального состояния эпителия слизистой оболочки тощей кишки, обладающего чувствительностью и относящегося к критической клеточной популяции, с высокой скоростью обновления, выражающейся в высоком уровне митотической активности как самой радиочувствительной стадии клеточного цикла, также позволяет использовать эту структуру в качестве критерия поражаемости организма в целом [1, 2, 6].

Целью данного экспериментального исследования являлось установление хронологии этапов поражения и специфики реакции клеточных популяций различных органов при длительном воздействии иЭМП.

### Материал и методы исследования

Эксперимент проведен на 351 половозрелой белой лабораторной крысе-самце с начальным возрастом 4 месяца. Возрастная модель составляла от 4 до 14 месяцев и для каждого срока эксперимента был определен свой возрастной контроль. Животных подвергали воздействию редко повторяющихся широкополосных высокоамплитудных импульсов электромагнитного поля ультракороткой длительности ( $15 \div 40$  нс) в течение 5, 7 и 10 месяцев. Уровни воздействующих импульсов электромагнитных полей (0.37, 0.7, 0.8, 2.7  $\text{kA/m}^2$ ) подбирались таким образом, чтобы плотность наведенных токов (ПНТ) в теле экспериментальных животных была эквивалентна уровням токов в теле человека при его профессиональной деятельности. Это давало возможность проведения как интерполяции, так и экстраполяции для других уровней. В связи со статической неопределенностью периодичности работы персонала в условиях воздействия фактора при моделировании животные находились в свободном режиме передвижения, и количество импульсов, подаваемых в неделю (И/н) на каждом уровне воздействия, составляло 50, 100 и 500, независимо от их дробно-

сти. Источниками, генерировавшими иЭМП, являлись установки ПК-4, ОМ-20Т «Ладога-М», ПК-5.

Эвтаназия экспериментальных и контрольных животных осуществлялась декапитацией, проводимой в одно и то же время суток через 10 месяцев после воздействия иЭМП, с предварительной наркотизацией. Гипоталамус и фрагмент тощей кишки фиксировали в растворе Беккера, после соответствующей обработки заливали в парафин и готовили серийные фронтальные срезы толщиной 5–6 мкм. Морфофункциональное состояние гипоталамуса оценивали на препаратах, окрашенных по Гомори, путем подсчета нейроглиального соотношения (среднее число клеток глии на один нейрон, при подсчете 100 нейронов), а также дифференцированного подсчета нейросекреторных клеток крупноклеточных ядер (КЯГ) по классификации А. Л. Поленова [4]. При этом, по морфологическим особенностям и количественному содержанию нейросекрета в цитоплазме выделяли 5 типов секреторных нейронов, отражающих разные фазы их секреторного и жизненного цикла: 1А тип – состояние «повышенной активности»; 1Б тип – состояние «умеренной активности»; 1В тип – состояние «депонирования»; 2 тип – состояние «покоя»; 3 тип – состояние «физиологической дегенерации». Динамику обновления эпителия слизистой оболочки тощей кишки оценивали по митотической активности (МА) недифференцированных эпителиоцитов, путем подсчета делящихся клеток двадцати продольных крипт с микропрепарата каждого животного, при окраске гематоксилином ( $\times 400$ ).

Полученные количественные данные обрабатывали с помощью методов вариационной статистики. Для оценки достоверности различий между связанными выборками непрерывных величин при нормальном распределении применялся парный t-критерий Стьюдента – для типов нейросекреторных клеток; при отсутствии нормального распределения использовались непараметрический Т-критерий Вилкоксона (для связанных выборок) с достоверностью более 95% – для соотношения морфометрических показателей и нейроглиального индекса.

### Результаты и их обсуждение

Результаты эксперимента показали, что пятимесячное воздействие электромагнитного фактора при высоких значениях ПНТ (2.7 и 0.8  $\text{kA/m}^2$ ) приводило в целом к угнетению функциональной активности КЯГ, что обуславливалось уменьшением содержания нейросекреторных клеток (НСК) повышенной и умеренной активности и увеличением их числа в состоянии депонирования и покоя. При остальных параметрах частот этого срока воз-

Таблица 1

## Содержание нейросекреторных клеток в КЯГ после 5-месячного воздействия иЭМП, в %

ПНТ (кА/м <sup>2</sup> )	И/н	Супраоптические ядра					Паравентрикулярные ядра				
		Тип 1А	Тип 1Б	Тип 1В	Тип 2	Тип 3	Тип 1А	Тип 1Б	Тип 1В	Тип 2	Тип 3
Контроль		21.33± 1.28	13.95± 1.04	46.29± ± 1.10	14.53± 0.83	3.89± 0.44	25.66± ± 1.48	13.60± 2.13	42.16± 2.7	14.99± 1.04	3.58± 0.35
0.37	50	19.7± 0.93	10.96± 0.89	49.25± ± 1.31	15.23± 0.86	4.86± 0.51	38.9± 3.78*	14.82± 1.44	36.4± 1.66	11.11± 2.83	3.76± 0.78
	100	21.21± 1.75	13.34± 0.92	50.6± 1.8	11.94± 0.69	2.93± 0.28	25.3± 1.40	12.95± 0.93	44.8± 1.74	14.82± 1.52	2.15± 0.55*
	500	18.79± 3.01	11.88± 0.49	51.99± 2.73*	14.06± 0.23	3.28± 0.32	30.08± ± 1.69	13.22± 1.39	42.55± 2.43	11.57± 0.92	2.57± 0.57
0.7	50	20.0± 0.54	14.81± 1.72	45.33± 1.58	16.29± 1.75	3.54± 0.41	25.5± 1.55	12.55± 0.88	42.8± 0.62	15.51± 1.82	3.60± 0.58
	100	19.04± 1.64	11.28± 1.33	53.99± 1.66*	13.09± 1.01	2.61± 0.29*	24.1± 2.79	12.58± 2.0	48.3± 2.65	12.48± 2.04	2.61± 0.16
	500	19.34± 1.27	14.7± 1.02	53.66± 1.46*	9.97± 0.99*	2.33± 0.19*	35.0± 4.81*	7.38± 1.35*	39.77± 4.27	14.79± 2.9	3.03± 0.21
0.8	50	15.02± 1.55*	14.86± 1.16	55.76± 1.66*	12.23± 0.99	2.12± 0.14*	25.5± 1.72	12.49± 1.39	43.8± 2.23	14.48± 1.32	3.76± 0.48
	100	14.57± 1.03*	8.93± 1.12*	53.29± 1.38*	19.81± 1.39*	3.39± 0.61	34.9± 1.32*	6.92± 1.03*	43.55± 1.78	12.74± 1.29	1.87± 0.34*
	500	13.24± 1.29*	9.41± 1.31*	54.53± 1.42*	18.34± 1.49*	4.48± 0.38	10.6± 1.89*	4.73± 0.79*	61.07± 2.14*	21.36± 1.26*	2.25± 0.33
2.7	50	15.14± 1.42*	6.99± 0.63*	53.69± 1.37*	20.1± 2.02*	4.12± 0.21	19.58± 1.18*	10.53± 1.21*	50.5± 0.60*	15.94± 1.51	3.42± 0.79
	100	23.5± 2.41	14.6± 1.10	41.68± 3.16	16.30± 0.88	3.92± 0.31	20.2± 1.76	11.79± 1.39	50.37± 2.19*	15.22± 1.58	2.38± 0.36
	500	23.21± 1.06	13.55± 1.08	47.97± 1.24	11.69± 0.96	3.38± 0.31	20.9± 2.11	16.54± 0.95	40.8± 1.57	19.47± 0.95	2.27± 0.24

Примечание: \* – различия статистически значимы в сравнении с контролем при  $p < 0.05$  (t-критерий Стьюдента), материал представлен как среднее арифметическое и стандартная ошибка средней.

Таблица 2

## Нейроглиальный индекс нейросекреторных клеток КЯГ в условиях 5-месячного воздействия иЭМП

ПНТ (кА/м <sup>2</sup> )	И/н	Супраоптические ядра				Паравентрикулярные ядра			
		Тип 1А	Тип 1Б	Тип 1В	Тип 2	Тип 1А	Тип 1Б	Тип 1В	Тип 2
Контроль		0.92± 0.009	0.58± 0.012	0.42± 0.017	0.25± 0.025	0.91± 0.02	0.44± 0.02	0.41± 0.007	0.22± 0.01
0.37	50	0.79± 0.019*	0.38± 0.018*	0.28± 0.011*	0.13± 0.008*	0.76± 0.032*	0.34± 0.014*	0.43± 0.009	0.15± 0.007*
	100	0.71± 0.027*	0.44± 0.017*	0.46± 0.029*	0.18± 0.010	0.81± 0.013*	0.62± 0.01*	0.48± 0.015*	0.25± 0.016
	500	0.76± 0.030	0.47± 0.027*	0.44± 0.019	0.23± 0.011	0.86± 0.029	0.52± 0.034*	0.50± 0.023	0.23± 0.016
0.7	50	0.67± 0.032	0.52± 0.034*	0.49± 0.024	0.11± 0.007	0.81± 0.023	0.45± 0.014	0.53± 0.019*	0.13± 0.09*
	100	0.61± 0.029	0.45± 0.025*	0.46± 0.036*	0.16± 0.024*	0.73± 0.037*	0.58± 0.036*	0.51± 0.019*	0.22± 0.021
	500	0.91± 0.018	0.42± 0.030*	0.51± 0.029*	0.26± 0.020*	0.94± 0.018	0.57± 0.013*	0.39± 0.013	0.17± 0.013*
0.8	50	0.77± 0.032	0.47± 0.019*	0.50± 0.018	0.13± 0.011*	0.67± 0.018*	0.44± 0.017	0.46± 0.028	0.17± 0.010*
	100	0.62± 0.021	0.44± 0.015*	0.42± 0.019*	0.16± 0.019*	0.63± 0.031*	0.39± 0.019	0.43± 0.014	0.17± 0.011*
	500	0.82± 0.032*	0.53± 0.025*	0.62± 0.014	0.15± 0.012*	0.74± 0.025*	0.56± 0.017*	0.42± 0.020	0.22± 0.014
2.7	50	0.69± 0.027	0.54± 0.019*	0.53± 0.022*	0.20± 0.012*	0.75± 0.026*	0.42± 0.020	0.44± 0.013	0.23± 0.014
	100	0.68± 0.022	0.52± 0.032*	0.53± 0.019*	0.23± 0.014	0.74± 0.033*	0.45± 0.013	0.49± 0.021*	0.28± 0.013
	500	0.80± 0.029	0.60± 0.030*	0.68± 0.021*	0.24± 0.014*	0.73± 0.014*	0.53± 0.018	0.37± 0.020	0.29± 0.019*

Примечание: \* – различия статистически значимы в сравнении с контролем при  $p < 0.05$  (Т-критерий Вилкоксона), материал представлен как среднее арифметическое и стандартная ошибка средней.

Таблица 3

## Содержание нейросекреторных клеток в КЯГ после 7-месячного воздействия иЭМП, в %

ПНТ (кА/м <sup>2</sup> )	И/н	Супраоптические ядра					Паравентрикулярные ядра				
		Тип 1А	Тип 1Б	Тип 1В	Тип 2	Тип 3	Тип 1А	Тип 1Б	Тип 1В	Тип 2	Тип 3
Контроль		30.9± 0.48	13.62± 0.39	45.8± 0.47	8.96± 0.25	0.68± 0.04	32.10± 1.18	10.58± 1.45	36.1± 1.03	7.75± 1.15	3.51± 0.21
0.37	50	21.43± 1.77*	9.44± 1.04*	54.47± 1.93*	14.09± 1.17*	0.57± 0.03	24.6± 1.63*	18.22± 1.17	43.52± 1.53*	11.47± 0.75*	2.20± 0.23*
	100	26.15± 1.93*	12.13± 0.86	49.62 ± 0.89	11.32± 1.35	0.77± 0.14	20.2± 1.07*	18.22± 1.18	51.18± 1.07*	8.64± 0.87	1.73± 0.20*
	500	31.6± 0.18	15.11± 0.08	43.32 ± 0.35	9.17± 0.21	0.78± 0.03	33.61± 2.10	19.44± 1.11	35.95± 1.56	7.45± 0.67	3.55± 0.22
0.7	50	21.17± 1.71*	10.67± 0.10*	54.4± 2.36*	11.53± 0.66	2.24± 0.06*	32.5± 1.44	20.1± 1.01	36.2± 2.12	7.58± 1.02	3.68± 0.04
	100	10.70± 0.14*	6.50± 0.31*	61.81± 0.79*	17.06± 0.97*	3.93± 0.20*	43.4± 1.42*	11.85± 1.26*	31.49± 1.12	10.43± 1.67	2.81± 0.34
	500	11.97± 1.29*	10.8± 0.87*	57.9± 0.63*	14.24± 0.76*	5.11± 0.39*	26.0± 1.31*	9.22± 0.97*	49.8± 1.62*	12.33± 1.03*	2.70± 0.36
0.8	50	13.66± 1.40*	11.24± 1.00*	58.71± 1.86*	12.50± 0.82*	3.89± 0.39*	26.5± 1.10*	6.67± 0.65*	51.74± 1.13*	12.67± 0.96*	2.44± 0.33*
	100	17.72± 1.02*	10.25± 1.85*	57.44± 3.11*	11.09± 1.77	3.50± 0.34*	25.1± 2.18*	10.0± 0.91*	48.5± 2.85*	13.85± 1.57*	2.59± 0.33
	500	13.68± 0.54*	11.86± 0.38	55.5± 0.52*	14.3± 0.61*	4.67± 0.12*	16.38± 1.68*	6.18± 0.96*	56.78± 2.51*	16.78± 0.62*	3.88± 0.48
2.7	50	30.3± 0.68	14.0± 0.31	44.6± 0.43	10.13± 0.6	1.05± 0.01	31.0± 0.74	19.61± 1.79	35.73± 1.32	9.38± 0.85	4.3± 0.71
	100	23.78± 2.23*	9.78± 0.84*	53.19± 1.46*	11.64± 1.72	1.60± 0.14*	25.19± 1.12*	20.57± 0.92	45.25± 1.26*	6.8± 0.83	2.18± 0.10*
	500	28.0± 1.37	7.82± 0.27*	49.6± 1.88	13.8± 0.87*	0.79± 0.07	23.9± 1.23*	17.07± 1.21*	43.73± 1.69*	13.00± 1.46*	2.29± 0.19*

Примечание: \* – различия статистически значимы в сравнении с контролем при  $p < 0.05$  (t-критерий Стьюдента), материал представлен как среднее арифметическое и стандартная ошибка средней.

Таблица 4

## Нейроглиальный индекс нейросекреторных клеток КЯГ в условиях 7-месячного воздействия иЭМП

ПНТ (кА/м <sup>2</sup> )	И/н	Супраоптические ядра				Паравентрикулярные ядра			
		Тип 1А	Тип 1Б	Тип 1В	Тип 2	Тип 1А	Тип 1Б	Тип 1В	Тип 2
Контроль		0.75± 0.015	0.66± 0.021	0.31± 0.015	0.23± 0.018	0.82± 0.017	0.34± 0.014	0.41± 0.013	0.07± 0.014
0.37	50	0.62± 0.026*	0.49± 0.029*	0.41± 0.016*	0.12± 0.012*	0.73± 0.021	0.42± 0.022	0.39± 0.019	0.14± 0.013*
	100	0.76± 0.046	0.56± 0.023*	0.52± 0.019*	0.18± 0.01	0.71± 0.031*	0.48± 0.02*	0.44± 0.032	0.23± 0.017*
	500	0.76± 0.044	0.53± 0.024*	0.53± 0.02*	0.18± 0.011	0.79± 0.020	0.45± 0.018	0.42± 0.021	0.2± 0.017*
0.7	50	0.71± 0.032	0.56± 0.024*	0.28± 0.015	0.19± 0.016	0.812± 0.038	0.5± 0.026*	0.33± 0.017*	0.23± 0.015*
	100	0.70± 0.027	0.51± 0.013*	0.42± 0.017*	0.12± 0.011*	0.72± 0.032*	0.38± 0.021	0.42± 0.023	0.22± 0.016*
	500	0.66± 0.028	0.44± 0.03*	0.24± 0.015*	0.09± 0.009*	0.84± 0.016	0.32± 0.012	0.33± 0.012*	0.13± 0.01*
0.8	50	0.69± 0.030	0.44± 0.025	0.34± 0.019	0.08± 0.008*	0.72± 0.026*	0.34± 0.029	0.24± 0.024*	0.15± 0.014*
	100	0.8± 0.027	0.30± 0.03*	0.39± 0.023*	0.2± 0.024	0.81± 0.032	0.48± 0.014*	0.25± 0.018*	0.19± 0.019*
	500	0.70± 0.025	0.44± 0.019*	0.36± 0.014	0.15± 0.012*	0.72± 0.021*	0.34± 0.022	0.33± 0.021*	0.11± 0.011
2.7	50	0.78± 0.019	0.50± 0.03*	0.45± 0.018*	0.11± 0.007*	0.79± 0.031	0.49± 0.015*	0.51± 0.023*	0.11± 0.008
	100	0.8± 0.031	0.59± 0.019*	0.45± 0.017*	0.14± 0.013	0.8± 0.016	0.50± 0.022*	0.5± 0.02*	0.02± 0.009*
	500	0.79± 0.013	0.52± 0.14*	0.46± 0.015*	0.12± 0.011*	0.81± 0.013	0.55± 0.018*	0.55± 0.02*	0.12± 0.012*

Примечание: \* – различия статистически значимы в сравнении с контролем при  $p < 0.05$  (Т-критерий Вилкоксона), материал представлен как среднее арифметическое и стандартная ошибка средней.

Таблица 5

Содержание нейросекреторных клеток в КЯГ после 10-месячного воздействия иЭМП, в %

ПНТ (кА/м <sup>2</sup> )	И/н	Супраоптические ядра					Паравентрикулярные ядра				
		Тип 1А	Тип 1Б	Тип 1В	Тип 2	Тип 3	Тип 1А	Тип 1Б	Тип 1В	Тип 2	Тип 3
Контроль		24.82 ± 2.22	9.15 ± 1.65	44.19 ± 3.31	19.8 ± 2.01	2.05 ± 0.07	28.51 ± 4.04	16.09 ± 3.85	33.58 ± 5.7	19.44 ± 3.49	3.39 ± 0.98
0.37	50	24.6 ± 0.33	9.91 ± 0.21	43.4 ± 0.33	20.5 ± 0.35	1.61 ± 0.08	25.3 ± 1.36	15.54 ± 1.37	36.4 ± 0.81	20.0 ± 1.45	2.70 ± 0.60
	100	36.97 ± 3.21*	7.98 ± 1.12	35.52 ± 1.49*	18.38 ± 3.64	1.15 ± 0.21	52.1 ± 0.94*	5.49 ± 0.41*	31.64 ± 0.88	10.0 ± 0.25*	0.74 ± 0.02*
	500	30.9 ± 0.96*	9.13 ± 0.84	40.5 ± 0.78	19.05 ± 0.98	0.50 ± 0.04*	46.3 ± 1.25*	9.79 ± 0.73*	35.0 ± 1.22	7.86 ± 0.48*	1.07 ± 0.05
0.7	50	31.13 ± 1.27*	7.67 ± 0.39	46.0 ± 1.16	14.44 ± 0.64*	0.79 ± 0.16*	43.6 ± 0.95*	7.41 ± 2.04*	37.25 ± 1.59	10.39 ± 1.09*	1.35 ± 0.38
	100	23.73 ± 0.47	9.15 ± 0.62	45.77 ± 0.9	18.97 ± 0.54	2.43 ± 0.19	26.7 ± 2.13	17.08 ± 1.36	33.21 ± 1.79	20.4 ± 2.49	2.63 ± 0.72
	500	26.0 ± 1.36	5.32 ± 0.90*	48.9 ± 2.60	18.04 ± 1.31	1.7 ± 0.16	44.0 ± 2.09*	10.86 ± 0.6*	32.17 ± 1.65	11.71 ± 0.85*	1.30 ± 0.18
0.8	50	46.91 ± 1.38*	4.54 ± 0.56*	36.8 ± 0.31*	10.99 ± 0.74*	0.74 ± 0.04*	30.71 ± 1.24	13.02 ± 1.23	27.47 ± 1.45*	25.1 ± 1.78*	3.73 ± 0.51
	100	24.3 ± 1.17	8.87 ± 0.41	45.21 ± 1.63	19.38 ± 0.21	2.28 ± 0.09	25.37 ± 2.02	14.28 ± 0.88	33.6 ± 1.65	23.56 ± 1.14	3.21 ± 0.42
	500	29.17 ± 0.73*	10.25 ± 0.73	49.8 ± 0.71*	10.3 ± 1.14*	0.49 ± 0.08*	21.28 ± 1.45*	9.42 ± 0.80*	45.76 ± 1.17*	19.46 ± 0.95	4.08 ± 0.47*
2.7	50	16.6 ± 1.39	6.97 ± 1.41	54.6 ± 3.21*	19.79 ± 2.56	1.97 ± 0.56	25.74 ± 1.82	16.63 ± 0.78	34.0 ± 1.52	21.2 ± 1.83	2.4 ± 0.47
	100	24.6 ± 1.38	8.38 ± 1.00	52.8 ± 1.90*	13.24 ± 0.25*	1.94 ± 0.20	20.9 ± 2.11	21.66 ± 2.19*	22.79 ± 3.07*	7.56 ± 1.37*	2.50 ± 0.57
	500	14.67 ± 1.18*	4.51 ± 0.53	51.03 ± 2.3*	23.18 ± 1.89	6.61 ± 0.99*	45.5 ± 3.73*	16.54 ± 0.95	40.8 ± 1.57	19.47 ± 0.95	2.27 ± 0.24

Примечание: \* – различия статистически значимы в сравнении с контролем при p<0.05 (t-критерий Стьюдента), материал представлен как среднее арифметическое и стандартная ошибка средней.

Таблица 6

Нейроглиальный индекс нейросекреторных клеток КЯГ в условиях 10-месячного воздействия иЭМП

ПНТ (кА/м <sup>2</sup> )	И/н	Супраоптические ядра				Паравентрикулярные ядра			
		Тип 1А	Тип 1Б	Тип 1В	Тип 2	Тип 1А	Тип 1Б	Тип 1В	Тип 2
Контроль		0.98 ± 0.011	0.73 ± 0.015	0.53 ± 0.019	0.17 ± 0.008	1.01 ± 0.022	0.57 ± 0.013	0.35 ± 0.017	0.29 ± 0.014
0.37	50	0.77 ± 0.029*	0.53 ± 0.018*	0.43 ± 0.020*	0.16 ± 0.010	0.65 ± 0.032*	0.42 ± 0.025*	0.48 ± 0.025	0.13 ± 0.012*
	100	0.76 ± 0.026*	0.51 ± 0.024	0.43 ± 0.015*	0.18 ± 0.012	0.63 ± 0.027*	0.41 ± 0.022*	0.48 ± 0.024*	0.12 ± 0.007*
	500	0.71 ± 0.024*	0.45 ± 0.024	0.26 ± 0.015*	0.11 ± 0.009*	0.58 ± 0.020*	0.37 ± 0.013*	0.37 ± 0.015	0.18 ± 0.009*
0.7	50	0.61 ± 0.031*	0.38 ± 0.026	0.43 ± 0.019*	0.13 ± 0.010*	0.59 ± 0.028*	0.43 ± 0.013*	0.471 ± 0.038*	0.18 ± 0.018*
	100	0.55 ± 0.020*	0.41 ± 0.030*	0.41 ± 0.018*	0.15 ± 0.012	0.61 ± 0.025*	0.41 ± 0.019*	0.44 ± 0.023*	0.19 ± 0.012*
	500	0.53 ± 0.023*	0.42 ± 0.018*	0.39 ± 0.015*	0.22 ± 0.014*	0.76 ± 0.013*	0.46 ± 0.021	0.39 ± 0.015	0.22 ± 0.020*
0.8	50	0.76 ± 0.043*	0.45 ± 0.016*	0.35 ± 0.015*	0.11 ± 0.010*	0.59 ± 0.049*	0.45 ± 0.020*	0.30 ± 0.019*	0.17 ± 0.016*
	100	0.75 ± 0.032*	0.43 ± 0.015*	0.36 ± 0.019*	0.11 ± 0.012*	0.57 ± 0.041*	0.43 ± 0.021*	0.30 ± 0.022*	0.16 ± 0.014*
	500	0.74 ± 0.025*	0.43 ± 0.022*	0.35 ± 0.020*	0.13 ± 0.012*	0.58 ± 0.044*	0.41 ± 0.029*	0.31 ± 0.014*	0.18 ± 0.017*
2.7	50	0.65 ± 0.022*	0.53 ± 0.026*	0.41 ± 0.038*	0.09 ± 0.008*	0.62 ± 0.030*	0.39 ± 0.020*	0.36 ± 0.021	0.18 ± 0.017*
	100	0.46 ± 0.039*	0.32 ± 0.020*	0.33 ± 0.015*	0.13 ± 0.011*	0.45 ± 0.019*	0.36 ± 0.023*	0.29 ± 0.013*	0.10 ± 0.007*
	500	0.66 ± 0.027*	0.43 ± 0.022*	0.44 ± 0.030	0.22 ± 0.016*	0.52 ± 0.027*	0.37 ± 0.022*	0.31 ± 0.020	0.11 ± 0.011*

Примечание: \* – различия статистически значимы в сравнении с контролем при p<0.05 (Т-критерий Вилкоксона), материал представлен как среднее арифметическое и стандартная ошибка средней.

действия увеличение количества нейронов в состоянии торможения было не столь выраженным (при всех дозах импульсов в неделю). Более ранняя реакция глиального окружения при незначительном изменении со стороны типов секреторных нейронов в СОЯ при 500 и 100 И/н, также свидетельствует о большей чувствительности клеток глии к воздействию иЭМП (табл. 1, 2).

Семимесячное воздействие иЭМП, независимо от параметров приводило к тому, что в КЯГ происходили изменения, носящие однонаправленный характер и заключающиеся в торможении функциональной активности за счет снижения численности секреторных нейронов повышенной и умеренной активности и преобладания НСК в состоянии депонирования независимо от ПНТ. При этом усиление процессов синтеза и депонирования нейросекрета в ядрах гипоталамуса за исключением 0.37 кА/м<sup>2</sup>, по-видимому, носило компенсаторный характер и сопровождалось увеличением численности перинейрональных глиоцитов (табл. 3, 4).

Применение иЭМП в сроке десяти месяцев вызывало неравнозначные изменения в КЯГ. Эффект электромагнитного фактора зависел как от ПНТ, так и от периодичности импульсов в неделю: при ПНТ 2.7 кА/м<sup>2</sup> и 500 И/н в СОЯ синтез и выведение нейросекрета тормозились, а в ПВЯ – стимулировались. При ПНТ 0.8 кА/м<sup>2</sup> и такой же частоте на-

блюдались противоположные явления. Снижение значений ПНТ в теле животных и увеличение количества импульсов ЭМП реализовывались в активизации КЯГ, а хронодинамика воздействия иЭМП и возрастные изменения носили характер синергизма, о чем свидетельствует достоверное снижение синтетических процессов в нейросекреторных клетках КЯГ к 10-му месяцу эксперимента, по сравнению с контрольной группой животных. Сдвиги перинейронального индекса зависели от количества подаваемых импульсов и принадлежности к КЯГ; он увеличивался при максимальной частоте в СОЯ при ПНТ 2.7 кА/м<sup>2</sup> и ПНТ 0.7 кА/м<sup>2</sup>, тогда как в ПВЯ – снижался, однако с уменьшением частоты и ПНТ иЭМП это различие нивелировалось (табл. 5, 6).

В условиях хронического воздействия иЭМП в изученных параметрах, наблюдалось достоверное снижение интенсивности пролиферации недифференцированных эпителиоцитов крипт и как следствие замедление обновления эпителиального пласта слизистой, с большей выраженностью при высоком значении ПНТ через 5 и 10 месяцев – при низком. Активизация МА наблюдалась спустя 7 и 10 месяцев воздействия с избирательностью к параметрам иЭМП: при ПНТ 0.37 кА/м<sup>2</sup> с периодичностью 50 И/н и 500 И/н соответственно; при ПНТ 0.7 кА/м<sup>2</sup> и 500 И/н через 7 месяцев; при ПНТ 0.8 кА/м<sup>2</sup> и 100 И/н через 10 месяцев (рис. 1).

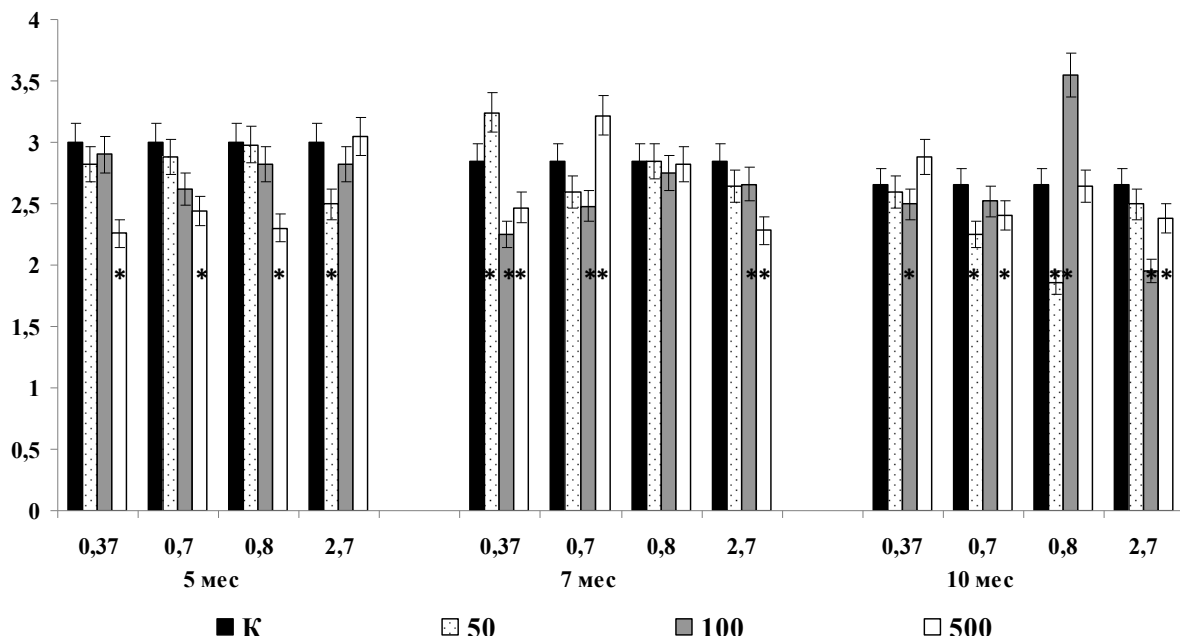


Рис. 1. Динамика митотической активности недифференцированных эпителиоцитов крипт слизистой оболочки тощей кишки в условиях воздействия иЭМП. Обозначения: по оси абсцисс – значения ПНТ в кА/м<sup>2</sup>; 5, 7 и 10 мес – сроки исследования; 50, 100 и 500 – количество импульсов, подаваемых в неделю; по оси ординат показатель митотической активности в усл. ед.; \* – различия статистически значимы в сравнении с контролем при  $p < 0.05$  (t-критерий Стьюдента), материал представлен как среднее арифметическое и стандартная ошибка средней.

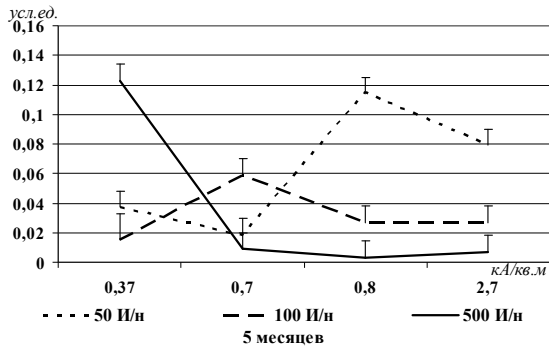


Рис. 2. Динамика коэффициента поражаемости недифференцированных эпителиоцитов крипт в условиях 5-месячного воздействия параметров иЭМП. Обозначения: \* – различия статистически значимы в сравнении с контролем при  $p < 0.05$  (t-критерий Стьюдента), материал представлен как стандартная ошибка средней.

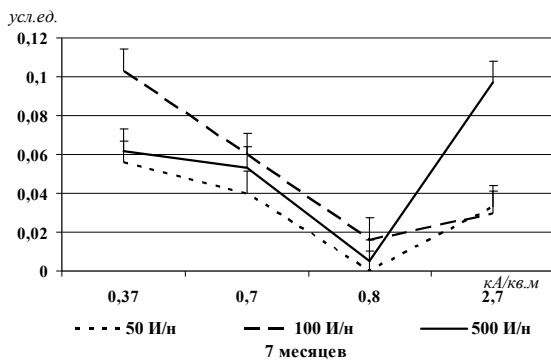


Рис. 3. Динамика коэффициента поражаемости недифференцированных эпителиоцитов крипт в условиях 7-месячного воздействия параметров иЭМП. Обозначения: \* – различия статистически значимы в сравнении с контролем при  $p < 0.05$  (t-критерий Стьюдента), материал представлен как стандартная ошибка средней.

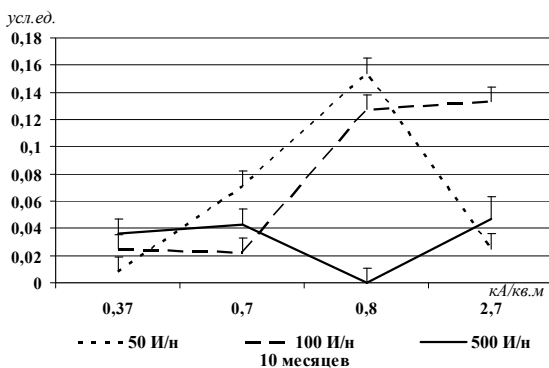


Рис. 4. Динамика коэффициента поражаемости недифференцированных эпителиоцитов крипт в условиях 10-месячного воздействия параметров иЭМП. Обозначения: \* – различия статистически значимы в сравнении с контролем при  $p < 0.05$  (t-критерий Стьюдента), материал представлен как стандартная ошибка средней.

Эффект изменения показателей средних величин МА недифференцированных эпителиоцитов был использован для вычисления коэффициента поражаемости ( $K_p$ ), который определялся логарифмической зави-

симостью отношения числа митотически делящихся эпителиоцитов крипт в эксперименте и контроле.

При пятимесячном воздействии показатель  $K_p$  усиливался ( $p < 0.05$ ) за счет снижения МА с наибольшим значением при ПНТ  $0.37 \text{ кА/м}^2$  по мере увеличения периодичности, а для ПНТ  $0.7 \text{ кА/м}^2$ ,  $0.8 \text{ кА/м}^2$  и  $2.7 \text{ кА/м}^2$  наблюдался обратный эффект в зависимости от количества импульсов в неделю (рис. 2).

При семимесячном воздействии иЭМП изменение  $K_p$  недифференцированных эпителиоцитов преимущественно носило фазовый характер, увеличиваясь при 100 И/н для ПНТ  $0.37 \text{ кА/м}^2$  и  $0.7 \text{ кА/м}^2$  и, напротив, снижаясь при  $2.7 \text{ кА/м}^2$  ( $p < 0.05$ ). При ПНТ  $0.8 \text{ кА/м}^2$  с периодичностью 100 и 500 И/н значения  $K_p$  были минимальными ( $p < 0.05$ ) (рис. 3).

Десятимесячное воздействие иЭМП приводило к повышению  $K_p$  эпителия по мере увеличения периодичности при ПНТ  $0.37 \text{ кА/м}^2$ , а при  $0.8 \text{ кА/м}^2$ , напротив – к существенному снижению ( $p < 0.05$ ). Изменения  $K_p$  при ПНТ  $0.7 \text{ кА/м}^2$  и  $2.7 \text{ кА/м}^2$  были разнонаправлены и носили фазовый характер в зависимости от периодичности с минимальным и максимальным значением при 100 и 50 И/н соответственно ( $p < 0.05$ ) (рис. 4).

В ходе обработки и сравнительного анализа результатов эксперимента были установлены «амплитудно-частотные окна» в динамике событий по морфологическим критериям, которые проявлялись отсутствием изменений по отношению к показателям контроля и рассматриваемые как проявление толерантности к комплексному воздействию параметров иЭМП. Для КЯГ эффект «окна» проявлялся по отношению к нейросекреторным клеткам при 10-месячном воздействии иЭМП с ПНТ  $0.7$  и  $0.8 \text{ кА/м}^2$  и периодичности 100 И/н, а для недифференцированных эпителиоцитов крипт слизистой оболочки тощей кишки он регистрировался при иЭМП с ПНТ  $0.8 \text{ кА/м}^2$  и периодичностью 50 и 500 и/н при 7- и 10-месячном воздействиях соответственно.

## Выводы

Таким образом, полученные экспериментальные данные позволили оценить изменения морфофункционального состояния тканевых клеточных популяций исследуемых органов в условиях воздействия различных параметров иЭМП, выявить проявления защитно-приспособительных реакций в хронодинамике эксперимента, влекущие за собой изменение динамического взаимоотношения между типами клеток с различной функциональной активностью и подтверждающие направленность биоэффектов иЭМП в неоднородных по чувствительности клеточных популяциях, зависящих как от ПНТ, так и от пе-

риодичности импульсов, а также установить возможные проявления толерантности для отдельных параметров иЭМП.

#### Список литературы

1. Морфофункциональные соотношения при воздействии импульсных электромагнитных полей / Хадарцев А.А. [и др.]. Тула–Белгород, 2012. 120 с.
2. Обновляющиеся и растущие популяции при воздействии переменных электромагнитных полей / Слюсарева О.А. [и др.] // Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине: 4-й международный конгресс. Санкт-Петербург, 2006. С. 124.
3. Патогенные воздействия неионизирующих излучений на организм человека ; под ред. А.А. Хадарцева и А.А. Яшина: ГУП НИИ НМТ, ООО НИЦ «Матрикс». Москва–Тверь –Тула: ООО «Издательство «Триада», 2007. 160 с.
4. *Поленов А. Л.* Морфофункциональная организация нейросекреторных клеток гипоталамуса / А.Л. Поленов // Нейроэндокринология. СПб: РАН, 1993. Ч. 1. С. 31–70.
5. *Свиридова О. А.* Электромагнитные поля в морфологических паттернах / О.А. Свиридова [и др.] // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: материалы второй междунар. науч.-практич. конф. Воронеж: ВГУ, 2011. С. 328–331.
6. *Свиридова О.А.* Адаптометрический подход корреляционной оценки клеточных популяций слизистой оболочки тощей кишки в модели хронического эксперимента условий импульсов электромагнитных полей / О.А. Свиридова // Вестник новых медицинских технологий. Тула: ГУИПП Тульский полиграфист, 2008. Т.16, №1. С. 215–216.
7. Справочник по электромагнитной безопасности работающих и населения / М.Г. Шандала, В.Г. Зуев, И.Б. Ушаков, В.И. Попов. Воронеж: Истоки, 1998. 82 с.
8. Экспериментальная магнитобиология: воздействие полей сложной структуры / М.В. Грязев [и др.]. Москва–Тверь–Тула: ООО «Триада», 2007. 112 с.

#### Сведения об авторах

**Попова Олеся Александровна** – канд. биол. наук, доцент кафедры анатомии и физиологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет». 394024, г. Воронеж ул. Ленина 86. 89803438178soa@mail.ru

**Грошева Екатерина Сергеевна** – канд. мед. наук, доцент кафедры анатомии и физиологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет». 394024, г. Воронеж ул. Ленина 86. k.andre@mail.ru

**Попов Станислав Сергеевич** – канд. мед. наук, главный врач БУЗ ВО ВГКБСМП № 8. 394090, г. Воронеж ул. Ростовская 90. stopov78@gmail.com

Поступила в редакцию 17.05.2016 г.