

# ВЛИЯНИЕ МОДУЛИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НЕТЕПЛОВОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА УРОВЕНЬ СПОНТАННОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ И ВЕГЕТАТИВНЫЙ СТАТУС КРУПНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

В. В. Баркин, С. В. Наумова

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В современных условиях научно-технического прогресса в результате развития различных видов энергетики и промышленности электромагнитные излучения (ЭМИ) занимают одно из ведущих мест по своей экологической и производственной значимости среди других факторов окружающей среды. Активно обсуждаемой проблемой является оценка опасности влияния на здоровье человека технических средств мобильной связи, использующих частоту 900 и 1800 МГц. Допустимый уровень излучения базовых станций мобильной связи (суммарный уровень от всех источников) в России составляет 10 мкВт/см<sup>2</sup>. Временно допустимый уровень от мобильных радиотелефонов определен 3 мкВт/см<sup>2</sup> [1, 2].

Наиболее полное представление о влиянии возмущающего фактора на живой организм позволяют сделать результаты оценки функционального состояния регуляторных систем организма – центральной и вегетативной нервной системы. Физиологические и ритмологические различия между крупными и мелкими млекопитающими обуславливают сложности экстраполяции результатов, полученных в экспериментах с крысами, на человека. Это заставило использовать в исследованиях свиней – биообъект, наиболее приближенный с физиологической точки зрения к человеку.

Таким образом, целью настоящей работы являлось исследование влияния низкоинтенсивного модулированного ЭМИ с плотностью потока энергии 50 и 10 мкВт/см<sup>2</sup> на вегетативный статус и уровень спонтанной двигательной активности свиней.

## Материалы и методы

В настоящем эксперименте исследовали влияние низкоинтенсивного модулированного СВЧ излучения с частотой 1 ГГц и максимальной (пиковой) ППЭ 10 и 50 мкВт/см<sup>2</sup>. В качестве источника воздействия использовали лабораторную СВЧ установку с антенной рупорного типа.

Объектами исследования являлись свиньи в возрасте 1,5–2,0 месяцев, массой 16–25 кг, в количестве 8 голов (5 самцов и 3 самки). Оценивали динамику вегетативного статуса и уровень спонтанной двигательной активности животных во время воздействия.

Работы со свиньями производили в условиях частичной иммобилизации, позволяющей осуществлять необходимые операции (крепление кардиографических электродов) и обеспечивающей относительно постоянное положение объекта относительно источника излучения. Животных размещали в деревянном станке-носилках и фиксировали стропами в торакальной и люмбальной (грудной и поясничной) областях. Станок помещали в экспериментальную камеру площадью 4,70 м<sup>2</sup> (1,20 × 3,90 м) в условиях искусственного освещения.

Во время воздействия животных размещали на расстоянии ≈ 1,07 м от источника излучения (апертуры рупорной антенны) и подвергали сериям из трех 10-минутных воздействий, разделенных техническими паузами (по 5–12 минут). Регистрацию биологических параметров проводили в течение всего времени нахождения животного в экспериментальной камере. Проводили сеансы контрольных измерений.

Уровень спонтанной двигательной активности (СДА) свиней исследовали с применением специально разработанной методики полуавтоматизированной регистрации моторных реакций. Регистрировали «тотальные» проявления двигательной активности (интенсивные движения конечностями, головой, туловищем, попытки освободиться) (табл. 1). Также отмечали наличие нестандартных поведенческих актов.

Таблица 1

Описание и характеристика статистических показателей интенсивности реакции психомоторного возбуждения

Показатель	Единица измерения	Расшифровка
ИР-СДА	%	<i>Интенсивность реакций спонтанной двигательной активности – отношение суммарной длительности всплеск СДА ко времени регистрации</i>
СПР-СДА	с	<i>Средняя продолжительность реакций спонтанной двигательной активности – средняя арифметическая длительности всплеск СДА</i>
ЧР-СДА	мин <sup>-1</sup>	<i>Частота всплеск реакций спонтанной двигательной активности – отношение количества актов реакции ПМВ ко времени регистрации</i>

Оценку функционального состояния вегетативной нервной системы (ВНС) проводили путем исследования вариабельности сердечного ритма (ВСР) по методу вариационной пульсометрии Р. М. Баевского [3]. Оценивали динамику геометрических параметров гистограмм распределения величины  $RR$ -интервалов во время проведения сеансов ЭМИ-воздействия [4, 5]. Проводили расчет показателей:  $BP$  ( $\Delta X$ ) – вариационный размах,  $Mo$  – мода,  $AMo$  – амплитуда моды,  $IN$  – индекс напряжения,  $ИВР$  – индекс вегетативного равновесия,  $ПАПР$  – показатель адекватности процессов регуляции,  $ВПР$  – вегетативный показатель регуляции. Регистрацию и обработку кардиосигнала проводили средствами программно-аппаратного комплекса регистрации «Поли-спектр – 8Е/8В». Запись электрокардиограммы проводили в шести стандартных отведениях.

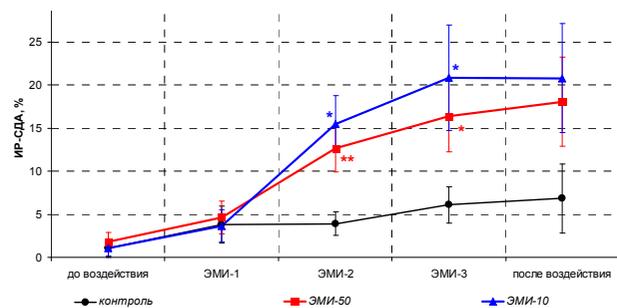
Сравнение между экспериментальными и контрольными группами проводили стандартными методами. Оценку статистически значимых различий проводили с использованием  $t$  – критерия Стьюдента, [6].

## Результаты и обсуждение

### Влияние модулированного ЭМИ на уровень спонтанной двигательной активности

Комплекс показателей интенсивности моторных реакций животных, подвергавшихся воздействию ЭМИ в начале периода наблюдения (исходный статус и первое 10-минутное воздействие) соответствовал данным контрольных измерений.

Во время второго и третьего 10-минутных воздействий относительная продолжительность реакций СДА животных, подвергавшихся ЭМИ-воздействию, заметно превышала показатели в контрольных сериях (рис. 1). При воздействии с ППЭ 50 мкВт/см<sup>2</sup> увеличение составило 3,2 и 2,7 раз соответственно ( $p \leq 0,01$  и  $p \leq 0,05$ ). При ППЭ 10 мкВт/см<sup>2</sup> увеличение составило 4,0 и 3,4 раз соответственно ( $p \leq 0,05$ ).



\* и \*\* – отличие от контроля с достоверностью соответственно  $p \leq 0,05$  и  $p \leq 0,01$

Рис. 1. Интенсивность реакций спонтанной двигательной активности (ИР-СДА)

Статистически значимые отличия показателя СР-СДА были зарегистрированы во время второго

и третьего 10-минутных воздействий (рис. 2). При воздействии ЭМИ с ППЭ 50 мкВт/см<sup>2</sup> наблюдали увеличение показателей в 2,2 и 2,1 раза соответственно (при  $p \leq 0,01$  и  $p \leq 0,05$ ). При ППЭ 10 мкВт/см<sup>2</sup> во время второго 10-минутного воздействия наблюдали увеличение показателя СР-СДА в 2,7 раза ( $p \leq 0,05$ ) и в 2,0 раза ( $p \leq 0,05$ ) – во время третьего. После окончания воздействия отклонения оставались на прежнем уровне.

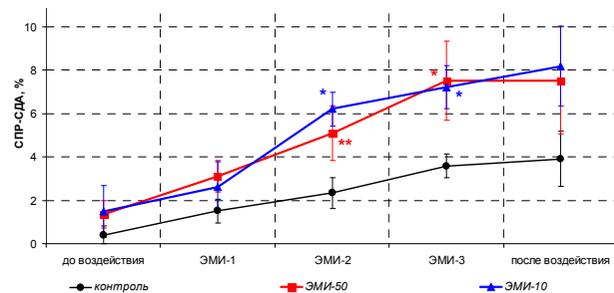


Рис. 2. Средняя продолжительность актов реакций спонтанной двигательной активности (СР-СДА)

Исследование динамики частоты реакций СДА показало увеличение исследуемого показателя в 2,2 раза у животных, подвергавшихся ЭМИ-воздействию, относительно контроля (рис. 3). При этом, статистически значимые отличия зарегистрировали в период времени, соответствующий второму 10-минутному воздействию ( $p \leq 0,05$ ). В оставшееся время наблюдения степень выраженности выявленных отклонений от контроля продолжала оставаться на достаточно заметном уровне. После воздействия с ППЭ 10 мкВт/см<sup>2</sup> увеличение показателя ЧР-СДА увеличилось в 2,1 раза.

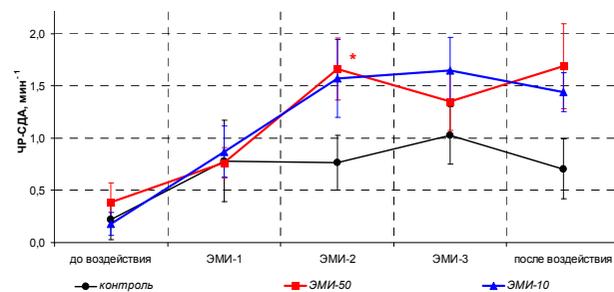


Рис. 3. Частота вспышек реакций спонтанной двигательной активности (ЧР-СДА)

Таким образом, установили, что воздействие модулированного ЭМИ с максимальной плотностью потока энергии 50 и 10 мкВт/см<sup>2</sup> приводило к заметному изменению уровня СДА свиней, которое проявлялось как при сопоставлении показателей экспериментальной и контрольной выборок, так и при исследовании контрастности смены состояний внутри выборки экспериментальных серий (табл. 2).

Наряду с этим отмечали повышение эмоциональности и увеличение интенсивности нестандартных реакций: признаки беспокойства, подергивания конечностями, вокализация. По мере реализации сеанса воздей-

ствия отмечали увеличение продолжительности и интенсивности реакций, усложнение их репертуара (признаки агрессии, вокализация, попытки освободиться).

Таблица 2

Направленность отклонения показателей

ППЭ, мкВт/см <sup>2</sup>	Направленность отклонение параметра (максимальная величина, %)		
	ИПМВ	СПР-ПМВ	ЧР-ПМВ
50	↑	↑	↑
	до 223 % ( $p \leq 0,01$ )	до 118 % ( $p \leq 0,01$ )	до 117 % ( $p \leq 0,05$ )
10	↑	↑	↑
	до 300 % ( $p \leq 0,05$ )	до 165 % ( $p \leq 0,05$ )	до 105 % ( $p \leq 0,05$ )

Полученный эффект проиллюстрирован на рис. 4, где в графической форме отражена динамика психофизиологического состояния свиней, подвергавшихся воздействию модулированного СВЧ излучения с максимальной плотностью потока энергии 50 мкВт/см<sup>2</sup> в сравнении с контролем (на примере одного из животных).

**Влияние модулированного ЭМИ на вегетативный статус**

При исследовании динамики гистограмм распределения величины RR-интервалов животных в сериях контрольных измерений (рис. 5) наблюдали постепенное увеличение вариационного размаха гистограммы (в конце сеанса на 33 %) и снижение величины ИН (на 55 %) при стабильном значении Мо и АМо. Это соответствует типичной картине стабилизации сердечного ритма по мере успокоения животного, исходно находящегося в состоянии эмоционального возбуждения на фоне повышенного симпатического тонуса, возникшего вследствие стресса, вызванного заневолитиванием.

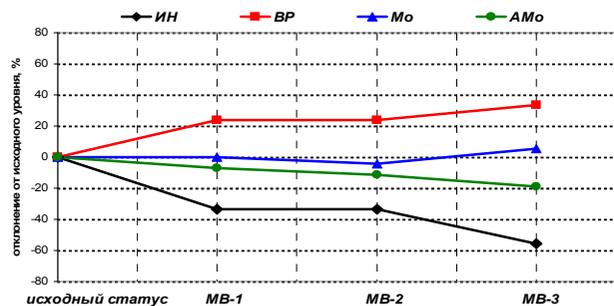


Рис. 5. Динамика основных характеристик гистограммы распределения величины RR-интервалов животных во время проведения сеансов мнимого воздействия

Анализ показателей ВСР показал наличие дестабилизирующего влияния ЭМИ с максимальной ППЭ 50 мкВт/см<sup>2</sup> на функционирование ВНС свиней (рис. 6). Это проявилось, прежде всего, в снижении ИН (до 48 %),

увеличении вариационного размаха гистограммы на 39 %. Наиболее заметные отклонения показателей от исходного уровня регистрировали в течение первого и второго 10-минутных воздействий. В конце сеансов воздействия наблюдали некоторую стабилизацию показателей ИН и ВР. Полученные изменения указывают на смещение баланса ВНС в сторону преобладания роли парасимпатического отдела. Таким образом, наблюдали формирование процесса, аналогичного протекавшему в контрольных исследованиях. Однако, ближе к концу сеансов воздействия отмечали снижение величины Мо, т. е. смещение вершины гистограммы влево, что свидетельствовало об увеличении симпатического тонуса, которое, по-видимому, и следует рассматривать как собственно реакцию ВНС на ЭМИ-воздействие. Подтверждение этого можно найти при оценке динамики вторичных показателей гистограммы.

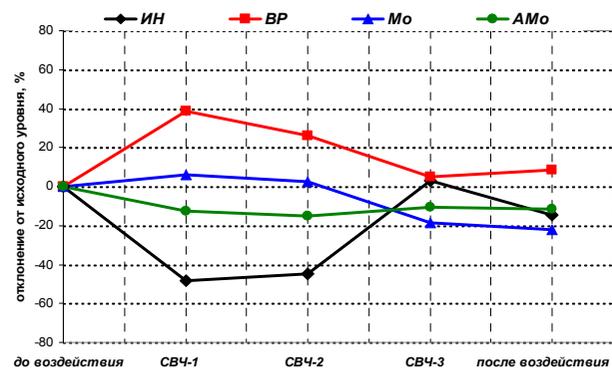
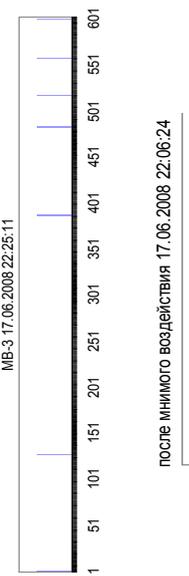
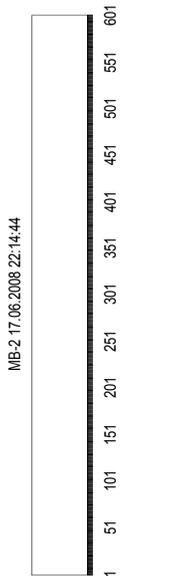
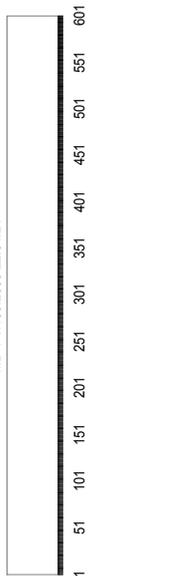


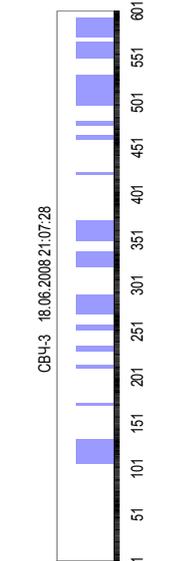
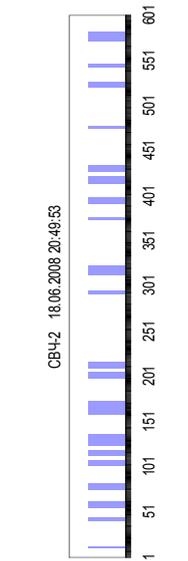
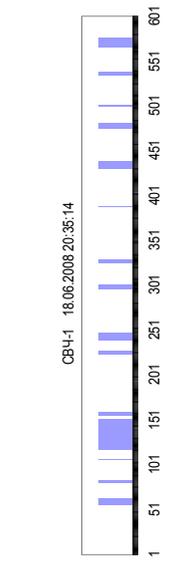
Рис. 6. Динамика основных характеристик гистограммы распределения величины RR-интервалов животных во время проведения сеансов воздействия модулированным СВЧ излучением с максимальной ППЭ 50 мкВт/см<sup>2</sup>

Оценка внешнего вида гистограмм позволяет более детально понять характер ответной реакции ВНС на ЭМИ-воздействие (рис. 8). Смещение гистограммы влево, уменьшение Мо и тенденция к снижению АМо сопровождалась на отдельных этапах воздействия формированием гистограмм «неправильной» формы: многовершинной и, реже, эксцессивной [3–5]. Изменения, наблюдавшиеся на фоне колебания величины вариационного размаха гистограммы, свидетельствуют о развитии в системе переходных процессов, протекающих на фоне повышения симпатического тонуса (третье 10-минутное воздействие). Исследование динамики показателей ВСР свиней, подвергавшихся воздействию модулированного ЭМИ с ППЭ 10 мкВт/см<sup>2</sup>, позволило установить несколько иной порядок формирования ответной реакции ВНС (рис. 7). В процессе реализации воздействия вначале отмечали снижение величины ИН (первое 10-минутное воздействие), а затем – увеличение. Наблюдаемая картина, по-видимому, обуславливается сменой состояний: адаптации животного к условиям иммобилизации, успокоение, затем – возбуждения, собственно реакцией на ЭМИ-воздействие. При этом наблюдали развитие общей тенденции к уменьшению показателя ВР.

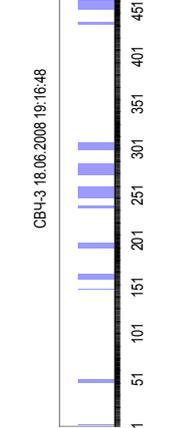
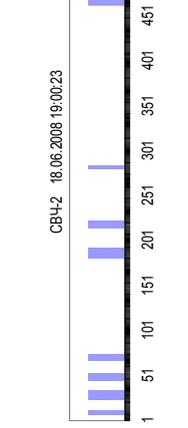
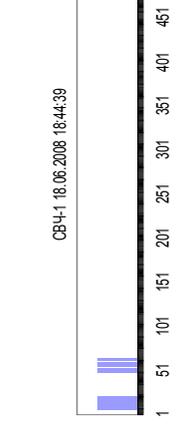
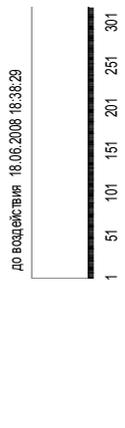
### Минимое воздействие



### СВЧ-50



### СВЧ-10



Длина прямоугольников (по горизонтальной оси) отражает длительность реакции спонтанной двигательной активности объект № 3.

Рис. 4. Динамика распределения интенсивности реакций спонтанной двигательной активности и эмоционального возбуждения психофизиологического состояния свиней, подвергавшихся воздействию модулированного ЭМИ в сравнении с контролем

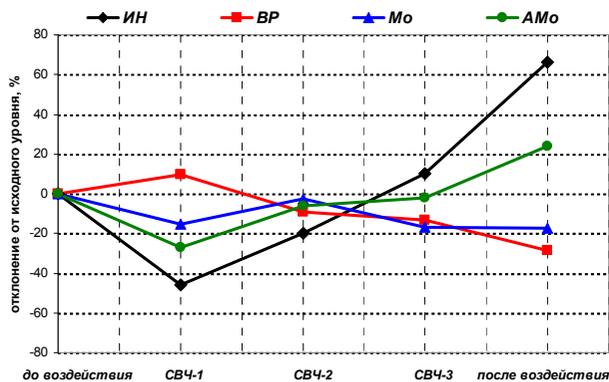


Рис. 7. Динамика основных характеристик гистограммы распределения величины  $RR$ -интервалов животных во время воздействия модулированным ЭМИ с максимальной ППЭ  $10 \text{ мкВт/см}^2$

Уменьшение  $Mo$ , в сочетании с тенденцией к увеличению  $AMo$ , указывает на повышение активности

симпатоадреналовой системы и, как следствие, возрастание роли симпатического отдела в регуляции сердечной деятельности. Динамики вторичных показателей гистограммы (увеличение ПАПР, ВПР, ИВР) также свидетельствовала о повышении симпатического тонуса и увеличении уровня централизации управления сердечного ритма.

Наблюдаемые изменения хорошо иллюстрируются на примере динамики гистограммы распределения величины  $RR$ -интервалов одного из объектов (рис. 8). На рисунке отчетливо видна тенденция к смещению гистограммы влево. Стоит подчеркнуть достаточно быстрое формирование ответной реакции организма на воздействие, проявившееся в формировании устойчивой тенденции к увеличению симпатического тонуса. Отмечаемые многовершинность и асимметричность гистограмм свидетельствовали о нарушении стационарности процессов нейровегетативной регуляции [3–5].

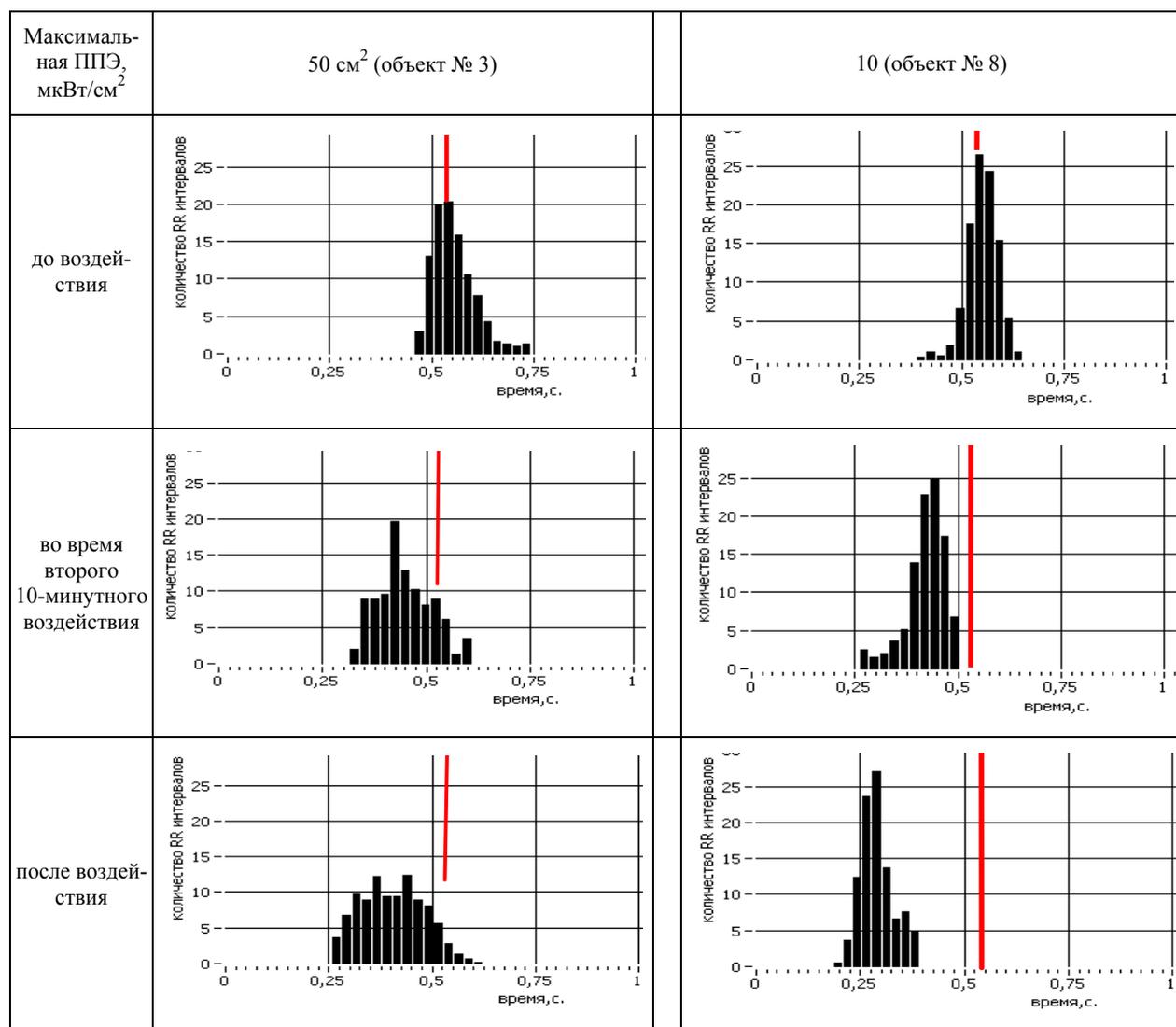


Рис. 8. Динамика гистограммы распределения величины  $RR$ -интервалов во время проведения сеанса воздействия модулированным ЭМИ

1. Воздействие модулированного ЭМИ приводило к заметному увеличению уровня спонтанной двигательной активности. Зарегистрировали увеличение интенсивности моторных реакций ЭМИ с ППЭ 50 мкВт/см<sup>2</sup> – в 3,2 раза ( $p \leq 0,01$ ), с ППЭ 10 мкВт/см<sup>2</sup> – в 4,0 раза ( $p \leq 0,05$ ). Наиболее выраженный эффект отмечали в период времени, соответствующий второму 10-минутному воздействию.

2. Электромагнитное излучение с максимальной плотностью потока энергии 50 и 10 мкВт/см<sup>2</sup> приводило к увеличению роли симпатического отдела в регуляции сердечной деятельности. Нарушение вегетативного баланса регистрировали начиная, соответственно, с третьего и второго 10-минутных воздействий.

3. Более заметные изменения функционирования вегетативной нервной системы наблюдали при воздействии ЭМИ с ППЭ 10 мкВт/см<sup>2</sup>, тогда как действие ЭМИ с ППЭ 50 мкВт/см<sup>2</sup> в большей степени сказывалось на увеличении уровня спонтанной двигательной активности. В целом, наблюдаемые *состояния животных можно определить как состояние психоэмоционального напряжения сопровождающегося нарушением вегетативного баланса* [7].

1. Дунаев В. Н. Электромагнитные излучения и риск популяционному здоровью при использовании средств сотовой связи // Гигиена и санитария. № 6, 2007. С. 56–57.
2. Григорьев Ю. Г. Гигиена и санитария. № 3, 2003. С. 14–16.
3. Баевский Р. М., Кириллов О. И., Клецкин С. З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М.: Наука, 1984.
4. Яблучанский Н. И., Кантор Б. Я., Мартыненко А. В. Вариабельность сердечного ритма в современной клинике. Харьков: Основа, 2001.
5. Гаврилушкин А. П., Медведев А. П., Киселев С. В. и др. Геометрический анализ нелинейных хаотических колебаний в оценке вариабельности сердечного ритма. Нижний Новгород: Нейрософт, 2001.
6. Гланц С. Медико-биологическая статистика / С. Гланц. М.: Практика, 1999.
7. Бодров В. А. Информационный стресс. М.: ПЕР СЭ, 2000.