

# ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО СЛОЖНОМОДУЛИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДИНАМИКУ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА ГОЛОВНОГО МОЗГА СВИНЕЙ

*Л. С. Буянов, И. А. Синельникова, Е. П. Лобкаева*

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

## Введение

В наши дни человек часто подвергается воздействию электромагнитного излучения (ЭМИ), источником которого являются бытовые и промышленные электроприборы. К настоящему времени хорошо изучено влияние на биосистемы ЭМИ высокой интенсивности, оказывающего тепловой эффект ( $ППЭ > 10 \text{ мВт/см}^2$ ), тогда как биологическое действие ЭМИ низкой интенсивности исследовано недостаточно. Актуальной задачей является изучение биологических эффектов ЭМИ с уровнями интенсивности, лежащими в пределах санитарных норм, а также влияния импульсных и модулированных ЭМИ.

Важное теоретическое и практическое значение приобретает вопрос разработки системы показателей, отражающих отклик организма на воздействие ЭМИ, и обоснование критериев «нормы», необходимых для определения направленности течения процессов и прогнозирования биологического действия ЭМИ [1].

Целью настоящей работы являлось изучение влияния низкоинтенсивного сложномодулированного электромагнитного излучения на динамику пространственно-временных характеристик биоэлектрического импульса головного мозга свиней.

Исследования были проведены на базе НИО-48 РФЯЦ-ВНИИЭФ г. Сарова.

## Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись свиньи породы крупная белая в количестве 8 особей (5 самцов и 3 самки) массой тела от 20 до 25 кг, находившихся в условиях содержания вивария на стандартном пищевом рационе при комбинированном освещении.

Воздействие на свиней осуществляли ЭМИ частотой 1 ГГц с многопараметрической модуляцией с различной плотностью потока энергии, пиковая ППЭ не превышала  $50 \text{ мВт/см}^2$ . В качестве источника ЭМИ использовали экспериментальный образец комплекса технических средств, реализующих дистанционное воздействие сложномодулированным электромагнитным излучением. Источник ЭМИ находился на расстоянии 1 м от биообъекта.

Во время проведения эксперимента животные находились в частично иммобилизованном состоянии. Исследования проводили по схеме, представляющей собой последовательность четырех экспериментальных сеансов, разделенных периодами в двое суток: 1) мнимое воздействие (контроль); 2) воздействие ЭМИ с пиковой ППЭ  $10 \text{ мВт/см}^2$ ; 3) воздействие ЭМИ с пиковой ППЭ  $50 \text{ мВт/см}^2$ ; 4) повторное воздействие ЭМИ с пиковой ППЭ  $50 \text{ мВт/см}^2$ . Каждый сеанс состоял из трех 10-минутных воздействий ЭМИ, разделенных 5-минутными паузами.

Для оценки функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС) использовали метод электроэнцефалографии (ЭЭГ). Регистрацию биоэлектрических сигналов каждого животного осуществляли с помощью электрографической измерительной системы NEOCORTEX 2.1, прилагающейся к энцефалографу. При регистрации ЭЭГ свиней учитывали морфологическое строение головы свиньи, размеры мозга которой не позволяют использовать большое количество электродов. В данном эксперименте использовали монополярные отведения пяти активных электродов, расположенных на центральной области, а также на центрально-лобных и теменных областях правого и левого полушарий. ЭЭГ регистрировали за 10 мин до воздействия, во время трехкратного воздействия по 10 мин, в перерывах между воздействиями, через 10 мин после воздействия. Контролем служило мнимое воздействие – соблюдение всех условий эксперимента, но без воздействия ЭМИ на объект.

## Результаты и их обсуждение

### Характеристики фоновой активности ЭЭГ свиней до воздействия

На ЭЭГ во всех областях головного мозга до ЭМИ воздействия преобладает бахромчатая диффузная бета1- и бета2-активность, наблюдаются одиночные или небольшими группами асинхронные полифазные потенциалы альфа-волн в сочетании с медленноволновой тэта-активностью. Амплитуда тэта-активности соизмерима с амплитудой бета-активности, но бета-активность на ЭЭГ преобладает. Выявленный харак-

тер ЭЭГ подтвержден спектральным анализом. Следует отметить, что у беспокойных животных амплитуда спектральных линий бета-активности выше, чем у спокойных, а девиация частоты на всех частотных диапазонах составляет  $\approx 3$  Гц на спектральном представлении ЭЭГ для всех исследуемых животных.

### Электроэнцефалограмма свиней после мнимого воздействия

В процессе мнимого воздействия характер энцефалограмм свиней не претерпел существенных изменений. Распределение относительной энергии ЭЭГ в процентах по диапазонам естественных ритмов активности головного мозга свиней до начала экспериментальных исследований и тех же свиней после мнимого воздействия представлено в таблице.

Распределение относительной энергии ЭЭГ в процентах по диапазонам естественных ритмов для групп свиней, находившихся в разных состояниях

Состояние	Дельта	Тэта	Альфа	Бета 1	Бета 2
До воздействия	4,86 ± ± 0,84	14,21 ± ± 1,42	31,32 ± ± 1,89	21,63 ± ± 1,17	28,07 ± ± 2,46
После мнимого воздействия (контроль)	4,20 ± ± 0,84	19,14 ± ± 1,42Δ	35,72 ± ± 1,89Δ	19,05 ± ± 1,17Δ	21,88 ± ± 2,46Δ
После ЭМИ с пиковой ППЭ 10 мкВт/см <sup>2</sup>	7,46 ± ± 1,45*Δ	19,93 ± ± 1,88Δ	27,14 ± ± 2,34*Δ	22,02 ± ± 1,32*	23,44 ± ± 2,09Δ
После первого сеанса ЭМИ с пиковой ППЭ 50 мкВт/см <sup>2</sup>	9,14 ± ± 1,21*Δ	19,46 ± ± 1,12Δ	26,78 ± ± 2,21*Δ	29,27 ± ± 2,76*Δ	15,35 ± ± 1,83*Δ
После второго сеанса ЭМИ с пиковой ППЭ 50 мкВт/см <sup>2</sup>	8,25 ± ± 1,06*Δ	22,53 ± ± 1,15*Δ	29,29 ± ± 1,17*Δ	22,01 ± ± 1,24*	17,92 ± ± 1,59*Δ

Примечание: \* – статистически значимые отличия от контроля ( $p \leq 0,05$ ); Δ – статистически значимые отличия от исходных значений ( $p \leq 0,05$ ).

При сравнительном анализе обнаружено достоверное увеличение интенсивности компонент ЭЭГ на диапазоне от 7 до 14 Гц (альфа-активность) после мнимого воздействия и падение уровня высокочастотных компонент (бета-активность). Поэтому состояние животных после мнимого воздействия можно с большей уверенностью отнести к спокойно-расслабленному, чем до начала экспериментальных исследований с неполной адаптацией к условиям эксперимента.

### Динамика ЭЭГ свиней при воздействии ЭМИ с пиковой ППЭ 10 мкВт/см<sup>2</sup> и после воздействия

Анализ амплитудно-временных и амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ позволил выявить небольшие изменения в процессе воздействия ЭМИ с пиковой ППЭ 10 мкВт/см<sup>2</sup> и после него: сохранение основных ритмов с увеличением девиации частоты, рост общей энергии бета2- и бета1-активности относительно контроля за счет ее сильной десинхронизации и полиморфности, частая смена одного ритма другим, что свидетельствует о неустойчивом функциональном состоянии мозга животных [2]. У некоторых свиней продолжительная десинхронизация ритмов вызвала кратковременный рост дельта-активности и затем общее уменьшение амплитуды сигнала (снижение уровня активации или торможение). Функционально неустойчивое состояние (ФНС), выявленное после воздействия модулированного ЭМИ с пиковой ППЭ 10 мкВт/см<sup>2</sup>, характеризуется достоверным увеличением энергии дельта- и бета1-активности и уменьшением альфа-активности (см. табл.).

Выявленные в процессе воздействия ЭМИ с пиковой ППЭ 10 мкВт/см<sup>2</sup> изменения ЭЭГ животных были нестабильны, возникали на короткое время и в течение 10–20 мин после окончания воздействия происходило их восстановление к виду, зарегистрированному до начала воздействия, что говорит о кратковременном изменении функционального состояния без глубоких органических изменений структур головного мозга.

### Динамика ЭЭГ свиней при воздействии ЭМИ с пиковой ППЭ 50 мкВт/см<sup>2</sup> и после воздействия

В процессе воздействия модулированным ЭМИ с пиковой ППЭ 50 мкВт/см<sup>2</sup> и после него наблюдались более глубокие изменения функционального состояния головного мозга животных и более продолжительное сохранение измененного состояния. На временных и амплитудно-частотных характеристиках электроэнцефалограмм свиней в процессе воздействия ЭМИ с пиковой ППЭ 50 мкВт/см<sup>2</sup> были отмечены десинхронизация основных ритмов, рост и широкая девиация бета-активности от 16 до 36 Гц, а также всплеск низкочастотных компонент ЭЭГ переменной частоты. Также на отдельных отрезках ЭЭГ наблюдалось общее падение энергии энцефалограмм, которое указывает на резкое кратковременное снижение активации ретикулярной активирующей системы вследствие нарушений проводимости структур головного мозга и, соответственно, его функционирования. Восстановления первоначального статуса после воздействия ЭМИ с пиковой ППЭ 50 мкВт/см<sup>2</sup> до конца эксперимента не произошло. Все эти изменения служат признаком умеренно выраженной дисфункции мезо-диэнцефальных структур.

Функционально неустойчивое состояние с появлением кратковременных, редких и неустойчивых

билатеральных вспышек низкочастотной и высокочастотной активности, свидетельствующих о нарушениях ликвородинамики и ирритации, выявленное после воздействия модулированного ЭМИ с пиковой ППЭ  $50 \text{ мкВт/см}^2$ , характеризуется еще большим достоверным увеличением энергии дельта- и бета-активности и уменьшением альфа-активности (см. таблицу). После второго сеанса воздействия модулированного ЭМИ с пиковой ППЭ  $50 \text{ мкВт/см}^2$  также наблюдалось ФНС, которое сопровождалось снижением активности ЦНС. Наблюдались достоверные изменения относительно контроля во всех исследуемых областях головного мозга на всех диапазонах: увеличение энергии дельта-, тета- и бета-активности, уменьшение энергии альфа-активности (см. таблицу).

## Выводы

1. Воздействие на животных сложномодулированного ЭМИ при всех исследуемых уровнях интенсивности вызывает однонаправленные изменения энцефалограмм, приводит к десинхронизации основных ритмов ЭЭГ, хаотическому переходу низкочастотных ритмов в высокочастотные, и наоборот, во всех исследуемых областях головного мозга, что свидетельствует о неустойчивости функционального состояния ЦНС.

2. В процессе воздействия модулированным ЭМИ в режиме № 1 происходили увеличение девиации частоты основных ритмов, рост общей энергии бета2- и бета1-активности, частая смена одного ритма другим, восстанавливающиеся до первоначального статуса в течение 10–20 мин.

3. В процессе воздействия модулированным ЭМИ в режиме № 2 наблюдались более глубокие изменения функционального состояния головного мозга животных. Происходили десинхронизация основных ритмов, рост дельта-активности одновременно с ростом высокочастотного бета2-ритма и увеличением его частоты, а также общее падение энергии электроэнцефалограмм. Восстановления первоначального статуса после воздействия ЭМИ до конца эксперимента не произошло.

## Литература

1. Лобкаева Е. П., Девяткова Н. С., Комиссаров В. И. Обоснование подбора параметров импульсного магнитного поля для получения заданного биологического эффекта // Сб. материалов международ. конф. «Человек и электромагнитные поля». Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2005. С. 8–19.

2. Поворинский А. Г., Заболотных В. А. Пособие по клинической энцефалографии. М.: Медицина, 2000.