

## ВЛИЯНИЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ МАЛОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗМА

Чуканова Г. А.<sup>1</sup>, Шурда Г. Г.<sup>1</sup>, Дорошенко Г. И.<sup>2</sup>, Верещак А. П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ОАО "АО НИИ радиотехнических измерений"

<sup>2</sup>Харьковская медицинская академия последипломного образования

С целью определения характера возможного влияния сверхвысокочастотных электромагнитных излучений малой интенсивности (СВЧ ЭМИ МИ) на экипажи космических аппаратов и операторов радиоэлектронных средств аэрокосмических комплексов исследовано влияние СВЧ ЭМИ МИ с различными параметрами и режимами воздействия на сердечно-сосудистую, дыхательную, вестибулярную и глазодвигательную функциональные системы и некоторые звенья гомеостаза организма животных.

Исследования проводили на лабораторных животных (крысы, морские свинки, кролики) путем оценки их функционального состояния до и после воздействия СВЧ ЭМИ МИ в следующих режимах: 1 — непрерывная генерация ЭМИ с частотой 4 ГГц; 2 — генерация ЭМИ с частотой 4 ГГц и 1.714 ГГц (при одновременной работе двух генераторов); 3 — генерация ЭМИ с частотой 2.857 ГГц, модулированных частотой 1 кГц; 4 — генерация ЭМИ с частотой 2.857 при изменении модулирующих частот от 2 до 150 Гц. Время воздействия ЭМИ в каждом режиме — 60 мин, плотность потока мощности — около 30 мкВт/см<sup>2</sup>.

Биохимические показатели состояния гомеостаза у крыс до воздействия СВЧ ЭМИ МИ были относительно стабильны. Концентрация крови водородных ионов у интактных животных была в пределах рН от 7.37 до 7.43.

В контроле у животных отмечаются стабильные показатели, характеризующие концентрацию в крови водородных ионов, в пределах рН от 7.37 до 7.43, соответствующие показателям венозной крови. Парциальное давление кислорода варьирует в пределах от 26.33±1.28 до 32.75±0.76 мм рт.ст., углекислого газа от 86.3±4.42 до 93.2±2.42 мм рт.ст.

Показатели кислотно-основного равновесия у контрольных животных при разном атмосферном давлении в разные дни исследований сохраняются достаточно стабильно. Воздействие изучаемого фактора в режимах 3 и 4 приводит к снижению парциального давления кислорода до 16.83±2.5 мм рт.ст. и 11.2±0.75 мм рт.ст. и к увеличению парциального давления углекислого газа до 148±4.69 мм рт.ст. и 100.8±3.2 мм рт.ст. соответственно.

Увеличение содержания парциального давления СО<sub>2</sub> может свидетельствовать об усилении метаболических процессов, сопровождающихся для поддержания физико-химического гомеостаза истощением буферных систем крови.

Активность лактатдегидрогеназы (ЛДГ) в сыворотке крови после воздействия ЭМИ в режимах 1 и 3 несколько увеличивается, но статистически достоверным это увеличение является только при действии в режиме 2. Небольшая величина наблюдаемых отклонений связана с тем, что используемые воздействия являются довольно мягкими по сравнению с теми условиями, при которых наблюдается сильное увеличение активности ЛДГ в сыворотке крови (такие деструктивные процессы в организме, как инфаркт миокарда, гепатит, рак, цирроз печени).

После воздействия СВЧ ЭМИ МИ в режиме 4 не изменяются ни активность ЛДГ, ни концентрация глюкозы в сыворотке крови.

Концентрация глюкозы достоверно увеличивается после воздействия СВЧ ЭМИ МИ в режиме 3. Такое увеличение говорит об усилении катаболических процессов в организме, в частности о включении в результате воздействия физического фактора нейrogормональных систем, усиливающих распад гликогена в мышцах и печени, сопровождающийся высвобождением глюкозы из печени в кровь.

Содержание железа в сыворотке крови не изменилось после воздействия физического фактора в режиме 1 и на 40 % увеличилось после применения режима 2. Такое увеличение может быть следствием либо усиления высвобождения железа из депо (ферритин печени), либо нарушения связывания гема с глобином в том случае, если изменения затронули клетки крови.

Параллельно с увеличением содержания железа повышается также общая железосвязывающая способность крови: в 2 раза на режиме 1 и в 3.6 раза на режиме 2. Так как связывание железа в крови осуществляется белком-трансферрином, такое увеличение может быть вызвано либо возрастанием количества молекул этого белка, либо таким изменением структуры белка, которое увеличивает это сродство к железу. Не исключено также, что возрастание общей связывающей способности сыворотки крови вызвано увеличением количества или сродства к железу других белковых молекул плазмы, которые в нормальных условиях мало связывают железо.

Анализ соотношения количества железа в сыворотке крови и ее общей связывающей способности (которая отражает потенциальные возможности связывания железа белками сыворотки крови) показало, что если у животных, не подвергшихся воздействию СВЧ ЭМИ МИ, белки сыворотки крови насыщены железом на 65 %, то после воздействия этого фактора в режиме 1 — на 29 %, а в режиме 2 — на 27 %, что отражается и на свободной связывающей способности сыворотки крови. Последний показатель увеличивается как после воздействия физического фактора в режиме 1, так и, в еще большей степени, в режиме 2, это указывает на значительный рост мест связывания железа, не занятых железом.

Приведенный анализ изменений изученных биохимических показателей сыворотки крови позволяет сделать вывод, что режим 2 оказался эффективнее режима 1.

Содержание ионов кальция исследовалось в сыворотке крови у 10 интактных животных и 10 крыс после воздействия СВЧ ЭМИ МИ в режиме 3. После воздействия СВЧ

ЭМИ МИ в режиме 3 отмечается достоверное снижение содержания ионов  $\text{Ca}^{2+}$  у крыс: интактные крысы —  $3.954 \pm 0.184$  ммоль/л, после воздействия —  $2.497 \pm 0.197$  ммоль/л.

Таким образом, в определенных режимах воздействия СВЧ ЭМИ МИ могут приводить к повышению активности ЛДГ, концентрации глюкозы и содержания железа в сыворотке крови, общей и свободной железосвязывающей способности сыворотки крови, а также к снижению содержания ионов кальция. Наличие и степень выраженности изучавшихся биохимических показателей сыворотки крови зависит от режима воздействующего СВЧ ЭМИ МИ.

Интегральным показателем этих изменений является снижение двигательной активности животных.

Под влиянием СВЧ ЭМИ МИ и действующего комбинированно с ним сенсорного стресса наблюдались изменения лейкоцитарного компонента гомеостаза у морских свинок.

После 50-минутного воздействия сенсорного стресса отмечается достоверное снижение количества лейкоцитов (лейкопения). Развитие лейкопении отражает снижение защитно-приспособительных реакций организма.

Последующее воздействие СВЧ ЭМИ МИ (режим 2) вызвало разнонаправленную лейкоцитарную реакцию. У 50 % животных количество лейкоцитов нормализовалось, что может свидетельствовать о мобилизации резервных возможностей. У второй половины животных лейкопения продолжала усугубляться под влиянием последующего воздействия ЭМИ.

Вероятно, разнонаправленный эффект СВЧ ЭМИ МИ зависел от различного исходного состояния организма, его адаптационных резервов.

Действие СВЧ ЭМИ МИ перед сенсорным стрессом предупреждало развитие лейкопении, сохраняя адаптационные резервы организма.

Исследования состояния дыхательной и сердечно-сосудистой системы при воздействии СВЧ ЭМИ МИ были проведены на 50 морских свинок. Регистрация электрокардиограммы (ЭКГ) в процессе проведения эксперимента осуществлялась с 1 стандартного отведения, при котором хорошо выражены зубцы Р — до 1.1 мВ с достаточной сохранностью других зубцов.

Электропневмография (ЭПГ) проводилась с помощью угольного тензодатчика через капсулу Марэ. Манжетка с датчиком плотно, но без сдавливания, крепилась вокруг грудной клетки на протяжении всего эксперимента.

В качестве электронного усилителя и регистрирующего устройства использовался восьмиканальный электроэнцефалограф "Орион", к которому подавались сигналы от электрокардиографических и пневмографических электродов.

Перед проведением эксперимента морская свинка помещалась в деревянный ящик, который устанавливался в безэховой камере, после чего регистрировались показатели ЭКГ и ЭПГ. Такая процедура проводилась 3–4 дня до начала каких-либо воздействий с целью адаптации животных к установке. Для оценки динамики адаптации у

трех животных исследования проводились до двух недель. Адаптация животных к установке в течение трех дней оказалась достаточной.

Датчики на протяжении эксперимента постоянно находились на теле животного. Сенсорный стресс создавался при вращении морской свинки на установке УПГ-56. Животное вращалось по часовой стрелке, проводились 3 вращения с 5-минутным перерывом между ними.

Запись результатов электрофизиологических показателей начинались спустя 15 мин. после установления платформы с животным и полного его успокоения. Результаты ЭКГ и ЭПГ после воздействий оценивались в сравнении с исходными показателями для каждого животного индивидуально.

При анализе ЭКГ и ЭПГ до воздействия СВЧ ЭМИ МИ и сенсорного стресса у морских свинок отмечается вариабельность частоты сердечных сокращений и дыхания. Различие исходных показателей свидетельствует о разной реактивности животных на эксперимент, несмотря на предыдущие тренировки.

Установлено, что при воздействии СВЧ ЭМИ МИ в режимах 1 и 2 деятельность сердца была более стабильна, чем реакция дыхательной системы. Частота дыхания изменялась, замедляясь при действии ЭМИ в режиме 1 и учащаясь после воздействия в режиме 2.

Изменение частоты дыхания после воздействия СВЧ ЭМИ МИ может быть отражением реакции дыхательного центра, регулирующего дыхание, и компенсаторной реакции на биохимические изменения в организме, направленной на поддержание гомеостаза.

В экспериментах, когда облучение биотропным физическим фактором в режиме 2 предшествовало вестибулосенсорному стрессу, ЭМИ оказывало стресспротекторное действие.

В тех случаях, когда вестибулосенсорный стресс действовал до ЭМИ, отклонения в функции сердечно-сосудистой системы и дыхательной системы были выраженными. Выявленные изменения могут быть обусловлены истощением адаптогенных реакций.

Значительное место в исследованиях вестибулярной функции занимает изучение нистагма с целью выявления объективных признаков взаимодействия эфферентных систем, необходимых для целей анализа пространственной ориентировки и статокINETической устойчивости человека-оператора.

В настоящей работе оценка функции вестибулярного аппарата представлена следующими параметрами: оптокинетический нистагм и реверсивный постнистагм (ОКН и РПН).

Нистагм регистрировался методикой электронистагмографии, основанной на свойствах глаза как диполя, электрическая ось которого совпадает с оптической осью. Опыты ставили на кроликах (36 особей) в затемненном помещении при электрическом освещении. ОК-стимуляцию прерывали путем выключения света в помещении (момент выключения регистрировали на специальном канале ЭЭГ). Длительность оптокине-

ческой стимуляции осуществляли до исчезновения ОКН. Воздействие СВЧ ЭМИ МИ на голову кроликов проводилось в течение 1 ч. После этого включали ОК-стимуляцию и в течение 30 минут ее действия снимались показатели нистагма с временными интервалами 1, 5, 15 и 30 мин. После остановки ОК-стимула и зрительной депривации животного с помощью колпака снимались показатели РПН также на протяжении 30 мин в те же интервалы времени.

У интактных животных ОКН развивается через 2–15 с после включения оптокинетического раздражителя и характеризуется частотой от  $0.49 \pm 0.068$  уд/с до  $1.28 \pm 0.034$  уд/с в различные периоды регистрации.

РПН характеризовался снижением частоты с  $1.09 \pm 0.22$  на первой минуте наблюдения до  $0.832 \pm 0.025$  к 60-й минуте. Амплитуда уменьшилась с  $235 \pm 37.53$  мВ с момента начала наблюдения до  $103.33 \pm 18.32$  мВ.

Снижение энергии РПН с момента регистрации до его исчезновения косвенно может свидетельствовать о постепенном снижении активности центральных нистагмогенных зон, ответственных за формирование РПН.

После установления глазодвигательных и вестибулярных показателей на интактных кроликах сутки проводились экспериментальные исследования по изучению влияния СВЧ ЭМИ МИ в режимах 1, 2, 3 на глазодвигательную реакцию по тестам ОКН и РПН.

Под влиянием СВЧ ЭМИ МИ во всех трех режимах четко прослеживается тенденция к урежению ритма ОКН (рис. 1), а частота РПН уменьшается (рис. 2).

Многочисленными экспериментальными и клиническими исследованиями показано, что оптокинетической стимуляцией кроме оптокинетического нистагма в церебральных нистагмогенных центрах формируется следовое возбуждение, которое возникает после прекращения оптокинетической стимуляции в условиях зрительной депривации. Это хорошо выраженный нистагм, длящийся десятки минут и зависящий от длительности предшествующей ОК-стимуляции. Этот вид нистагма сопровождается у человека иллюзией самовращения. Он является результатом автоматической деятельности нистагмогенных церебральных образований. Поскольку РПН является результатом длительного оптокинетического воздействия, он может служить объективным показателем постстимульной активности не только низших, но и высших центров зрительной системы.

Под влиянием СВЧ ЭМИ МИ в режиме 1, 2 и 3 угнетается частота и амплитуда как ОКН, так и РПН. Исходя из вышеизложенного, можно предположить, СВЧ ЭМИ МИ в исследованных режимах угнетают циклическую активность ЦНС, в том числе центральные нистагмогенные центры и высшие центры зрительной системы. Выявленные изменения могут привести к нарушению пространственной ориентации у оператора под влиянием СВЧ-излучения.

Анализ проведенных исследований поведенческих реакций по тесту «открытого поля» после воздействия СВЧ ЭМИ МИ в различных режимах показал, что период воздействия, продолжительностью 5–10 мин не выявляет изменений со стороны централь-

ной нервной системы у интактных крыс. Эффект биотропного физического фактора в виде угнетения общего уровня двигательной активности и снижения исследовательской активности у крыс обнаружен после 60 мин облучения.

Под влиянием СВЧ ЭМИ МИ у крыс происходит изменение типичного для данного животного спектра эмоционально-поведенческой реактивности. Значительно увеличивается латентный период первого перемещения с 1.65 с до 15.9 с. Уменьшается время нахождения в центре площадки после начала тестирования (с 24.8 с до 12.0 с), время выходов в центр поля (с 3.47 с до 0.85 с), горизонтальная активность (с 67.7 до 52.0); длительность груминга (с 21.6 с до 12.2 с); показатель вертикальной активности (с 8 с до 5.2 с), незначительно показатель вегетативного баланса (с 1.8 до 1.29).

Предварительные результаты свидетельствуют об изменении также характера агонистического поведения крыс под влиянием СВЧ ЭМИ. В связи с этим целесообразно продолжить исследования в этом направлении.

Результаты настоящего исследования свидетельствуют о необходимости исследования «информационного» влияния на экипажи космических аппаратов, обслуживающий персонал наземных космических систем (НКС) и население спектров электромагнитных сигналов (ЭМ-сигналов), которые характеризуют существующие и перспективные НКС, определения тех, которые могут оказывать негативное влияние. Необходимо изучить возможность использования медикаментозных и физиотерапевтических методов компенсации негативного влияния ЭМИ.

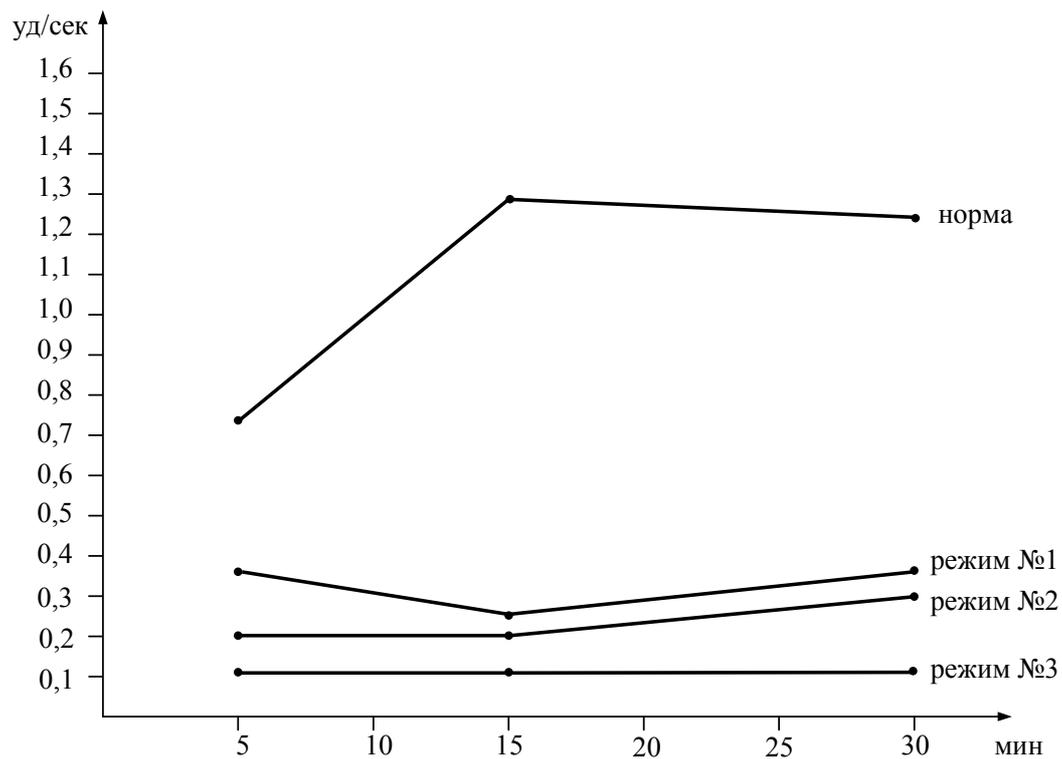


Рис. 1. Динамика оптокинетического нистагма

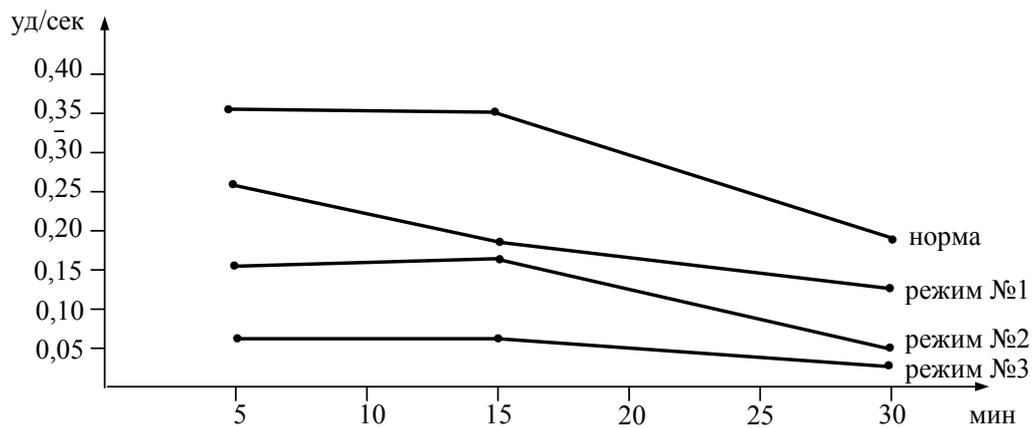


Рис. 2. Динамика реверсивного постстимагма