

Р. А. Чиженкова 

Институт биофизики клетки РАН, Россия, г. Пущино

e-mail: chizhenkova@mail.ru

ИМПУЛЬСНЫЕ ПОТОКИ ПОПУЛЯЦИЙ КОРКОВЫХ НЕЙРОНОВ ПРИ СВЧ ОБЛУЧЕНИИ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Аннотация. Исследованы одноминутные воздействия СВЧ-поля (длина волны – 37,5 см, ППМ –0,2-0,3; 0,4; 0,5 и 40 мВт/см²) на импульсные потоки корковых нейронов бодрствующих необездвиженных кроликов. Рассмотрены межимпульсные интервалы в течение минуты до воздействия, во время воздействия и в течение одной минуты после. Анализировались изменения, которые происходили со стороны межспайковых интервалов в результате данных воздействий. Установлено, что в случае интенсивности облучения 0,2-0,3 и 0,4 мВт/см² происходило преимущественно уменьшение средних величин межспайковых интервалов, а при интенсивностях облучения 0,5 и 40 мВт/см² преобладали сдвиги величин межспайковых интервалов противоположной направленности. Наименьшие изменения межспайковых интервалов наблюдались при интенсивности 0,4 мВт/см². В работе показано, что сверхвысокочастотное облучение при одноминутной экспозиции вызывает перестройки в импульсных потоках популяций корковых нейронов. Перестройки нейронной активности, возникающие под влиянием одноминутного сверхвысокочастотного облучения, состоят из визуально преимущественно отдельных сдвигов во время и после воздействия с дополнительными колебаниями и показателями внутри указанных периодов, что имеет сходство с изученными нами ранее энцефалограммами. Проведенные исследования необходимы для понимания электромагнитной ситуации на Земле и при анализе соответствующих проблем, связанных с космосом.

Ключевые слова: СВЧ облучение, кора больших полушарий, нейроны, спайковая активность.

R.A. Chizhenkova

Institute of Cell Biophysics Russian Academy of Sciences, Russia, Pushchino

e-mail: chizhenkova@mail.ru

Pulse flows of cork neuron populations under microwave irradiation of different intensity

Abstract. The one-minute effects of the microwave field (wavelength 37.5 cm, power density 0.2-0.3; 0.4; 0.5, and 40 mW/cm²) on the impulse flows of cortical neurons of awake non-immobilized rabbits were investigated. Interpulse intervals were considered within a minute before exposure, during exposure and within one minute after. The changes that occurred on the side of the interspike intervals as a result of these impacts were analyzed. It was found that in the case of irradiation intensities of 0.2-0.3 and 0.4 mW/cm², the average values of interspike intervals predominantly decreased, and at irradiation intensities of 0.5 and 40 mW/cm² shifts in the values of interspike intervals of the opposite direction prevailed. The smallest changes in interspike intervals were observed at an intensity of 0.4 mW/cm². The work shows that microwave irradiation with a one-minute exposure causes rearrangements in the impulse flows of populations of cortical neurons. The rearrangements of neuronal activity that occur under the influence of one-minute microwave irradiation consist of visually predominantly separate shifts during and after exposure with additional fluctuations and indicators within these periods, which is similar to the encephalograms we studied earlier. The studies carried out are necessary for understanding the electromagnetic situation on the Earth and for the analysis of the corresponding space-related problems.

Key words: microwave irradiation, neocortex, neurons, spike activity.

Р.А. Чиженкова

РГА жасуша биофизикасы институты, Ресей, Пушино қ.

e-mail: chizhenkova@mail.ru

Қырыттық нейрондар популяцияларының түрлі интенсенциялық микротолқынды сәулелендіру астындағы пульстық ағымдары

Андатпа. Бұл жұмыста ояу иммобилизацияланған қояндардың кортикальды нейрондарының импульстік ағындарына микротолқынды өрістің бір минуттық әсері (толқын ұзындығы 37,5 см ППМ 0,2-0,3; 0,4; 0,5 және 40 мВт/см²) зерттелді. Импульсаралық интервалдар әсер етуден бір минут бұрын, экспозиция кезінде және одан кейін бір минут ішінде қарастырылды. Осы әсерлердің нәтижесінде аралық интервалдарда орын алған өзгерістер талданды. Сәулелену қарқындылығы 0,2-0,3 және 0,4 мВт/см² болған жағдайда аралық интервалдардың орташа мәні негізінен төмендейтіні, ал 0,5 және 40 мВт/см² сәулелену қарқындылығында мәндердің ығысуы анықталды. Қарама-қарсы бағыттағы аралық интервалдар басым болды. Тізбекаралық интервалдардағы ең аз өзгерістер 0,4 мВт/см² қарқындылықта байқалды. Жұмыс бір минуттық әсермен микротолқынды сәулеленудің кортикальды нейрондар популяцияларының импульстік ағындарының қайта құрылуын тудыратынын көрсетеді. Бір минуттық микротолқынды сәулеленудің әсерінен пайда болатын нейрондық белсенділіктің қайта құрылуы осы кезеңдердегі қосымша тербелістермен және индикаторлармен әсер ету кезінде және одан кейін көзбен қарағанда басым бөлек ығысулардан тұрады, бұл біз бұрын зерттеген энцефалограммаларға ұқсас. Жүргізілген зерттеулер Жердегі электромагниттік жағдайды түсіну және ғарышқа қатысты мәселелерді талдау үшін қажет.

Түйін сөздер: микротолқынды сәулелену, ми қыртысы, нейрондар, спик белсенділігі.

Введение

Главный момент в реакциях человека и животных на электромагнитные поля (ЭМП) принадлежит нервной системе [1, 2, 3]. В предыдущих исследованиях, проведенных на основе анализа биопотенциалов различных структур мозга и операционных вмешательств, мы установили, что в физиологических механизмах влияния ЭМП, в том числе и поля СВЧ, на головной мозг доминирующую роль играет непосредственно действие проникающих факторов на его структуры [1, 4, 5, 6, 7].

Следует отметить, что работ, посвященные воздействию СВЧ облучения на деятельность центральных нейронов млекопитающих, существует немного и наши исследования среди них занимают приоритетное место [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

В исследованиях других авторов, которые были начаты позднее наших, при СВЧ облучении описаны сдвиги частоты импульсации нейронов гиппокампа и

гипоталамуса кролика [9], в переживающих срезах коры мозга морской свинки [15] и в коре больших полушарий кроликов [16, 17]. Первая из этих работ имеет отношение к общей функциональной перестройке в деятельности мозга в результате СВЧ облучения, поскольку подкорковые образования мало доступны для этого фактора [18, 19]. Вторая представляет модельную ситуацию *in vitro*. Наиболее близки к нашим исследованиям работы Лукьяновой с соавторами [16, 17], проведенные при той же длительности воздействия, что и в наших экспериментах, однако в отличие от них в импульсном режиме.

Предыдущие наши исследования показали, что при СВЧ облучении в принципе возможны учащение и урежение фоновой импульсации одиночных нейронов коры больших полушарий. Тем не менее данный эффект весьма неотчетлив по сравнению с изменениями вызванной активности [8, 11].

Цель настоящих исследований заключается в рассмотрении характеристик межспайковых интервалов в импульсных потоках популяций корковых нейронов при СВЧ облучении разных интенсивностей. В качестве обоснования указанного направления работы выступают следующие моменты: 1. При использовании импульсных потоков нейронных популяций нивелируются случайные флуктуации и подчеркиваются лидирующие перестройки в активности нейронов [20]. 2. Анализ межспайковых интервалов является более информативным, чем средней частоты импульсации нейронов [21]. 3. Целесообразно сравнение особенностей нейронной активности при интенсивностях облучения, близких к пороговым (или даже подпороговым) относительно продуцирования ЭЭГ реакций и дающих четкие изменения ЭЭГ.

Материалы и методы

Эксперименты были поставлены на 34 необездвиженных ненаркотизированных бодрствующих кроликах (самцах) массой около 3 кг, которым в сенсомоторную область коры предварительно вживляли отводящие электроды на глубину 750-1500 мкм. В течении эксперимента температурные эффекты СВЧ облучения не отмечались. Последнее подтверждается также стабильностью амплитуд нейронных спайков, которые претерпевали бы отклонения в результате сдвигов электропроводности, если имели бы место температурные сдвиги.

Эксперименты проводили в утренние часы суток. Во время опытов животные мягко фиксировались на деревянном станке. Облучение осуществляли полем СВЧ с длиной волны 37,5 см (800 МГц), интенсивностью 0,2-0,3; 0,4; 0,5 и 40 мВт/см² в сплошном режиме. Экспозиция, как и в наших предыдущих работах, равнялась 1 мин. Облучению подвергалась преимущественно голова животного. Вектор E соответствовал передне-заднему направлению.

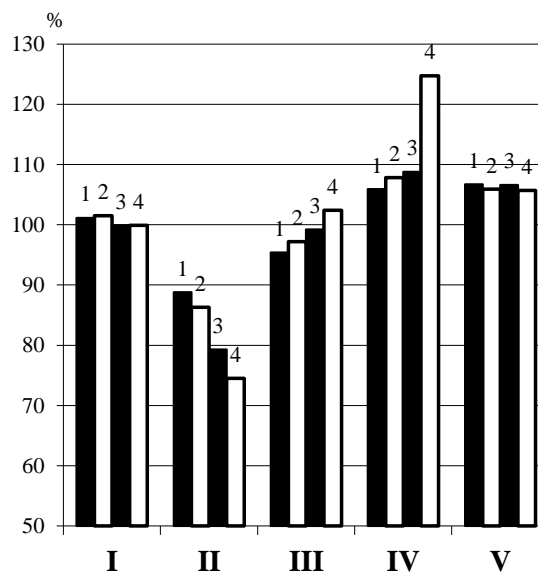
Регистрацию спайковой активности осуществляли в течение 3 минут: 1 мин. до облучения, во время одностороннего облучения и 1 мин. после его прекращения.

Применяли стандартные методы разделения нейронной активности и шума [22]. Выделение импульсных рядов, принадлежащих отдельным нейронам, не входило в задачу данной работы. Спайковая активность одиночных нейронов коры при СВЧ облучении рассмотрена нами ранее [8, 11]. Анализ проводили по эпохам 20 сек. Определяли числа межспайковых интервалов, средние величины межспайковых интервалов, средние квадратичные отклонения и стандартные отклонения средних значений. В контрольных исследованиях была аналогичная регистрация спайковой активности, однако облучение отсутствовало.

Статистический анализ полученных данных осуществляли на основе критерия Фишера и корреляционного анализа.

Результаты и обсуждение

Характеристика импульсных потоков корковых нейронов в контрольных исследованиях и при СВЧ-облучениях суммарно представлена на рисунках 1,2 и 3. Экспериментальный материал включает результаты 206 воздействий полем СВЧ и 50 "ложных" воздействий с регистрацией электрической активности в аналогичных условиях, но при отсутствии самого облучения.

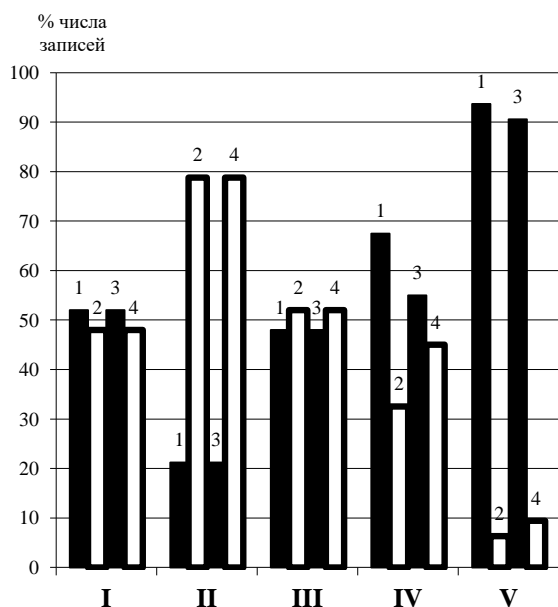


Обозначения: I – контроль, число воздействий 50; II – ППМ 0,2-0,3 мВт/см², число воздействий 52; III – ППМ 0,4 мВт/см², число воздействий 50; IV – ППМ 0,5 мВт/см², число воздействий 40; V – ППМ 40 мВт/см², число воздействий 64; При

воздействии: интервал – 1, σ – 2; после
воздействия: интервал – 3, σ – 4;

Рисунок 1 – Влияние СВЧ облучения разной интенсивности на средние величины межспайковых интервалов и их средние квадратичные отклонения (% величины от исходного фона)

На рисунке 1 показано влияние СВЧ облучения разной интенсивности на средние величины межспайковых интервалов и их средние квадратичные отклонения. Рисунки 2 и 3 дают сведения о числе записей импульсных потоков в процентах с изменениями средних величин межспайковых интервалов и их средних квадратичных отклонений: рисунок 2 до воздействия, рисунок 3 после.



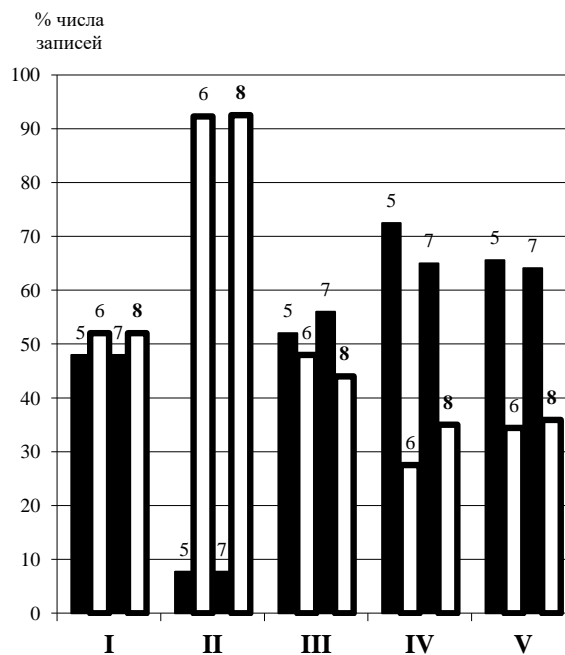
Обозначения: (I – V) как на рисунке 1.
Увеличение интервала – 1, увеличение σ – 2,
уменьшение интервала – 3, уменьшение σ – 4;

Рисунок 2 – Число записей импульсных потоков в процентах с изменениями средних величин межспайковых интервалов и их средних квадратичных отклонений при воздействии

Средний межспайковый интервал за одну минуту записи нейронной активности составлял от 7,40 до 28,10 мс. Импульсные потоки, по-видимому, были крайне нестационарны, поскольку среднее квадратичное отклонение имело большие величины (от 8,68 до 43,54 мс).

Однако в связи с очень большими объемами вариационных рядов (число интервалов, приходящихся на минуту регистрации, составляло от 2135 до 8108), стандартные отклонения средних величин межспайковых интервалов были весьма малы (от 0,11 до 1,09 мс).

Варианты нейронной активности сенсомоторной коры, а также особенности архитектоники данной корковой области нами уже рассмотрены [25]. Известно, что рисунок импульсных потоков нейронов коры представляет довольно сложную структуру [26]. В настоящей работе была проанализирована лишь одна из его характеристик – средняя величина межспайковых интервалов. На основе тщательного математического анализа ранее было показано, что параллельное рассмотрение межспайковых интервалов и частот спайков дает неидентичные сведения. При этом распределение межспайковых интервалов стремится к нормальному, в отличие от частот спайков. Кроме того, предполагается, что анализ межспайковых интервалов обладает большей информационной значимостью, чем частотный анализ [21].



Обозначения: (I – V) как на рисунке 1.
Увеличение интервала – 5, увеличение σ – 6,
уменьшение интервала – 7, уменьшение σ – 8;

Рисунок 3 – Число записей импульсных потоков в процентах с изменениями средних величин межспайковых интервалов и их средних квадратичных отклонений после воздействия

Суммарные результаты по влиянию облучения на исследуемые показатели импульсных потоков приведены в рисунке 1, который показывает как направленность сдвигов зависит от интенсивности поля. Однако в каждом конкретном случае записи нейронной активности возникновения определенных отклонений было не фатально. Помимо самого облучения, оно могло определяться естественными колебаниями функционального состояния, маскироваться изменениями иного происхождения и т.д. При этом имела место не жесткая причинно-следственная связь "фактор-реакция", а преимущественно статистическая (рисунок 2, рисунок 3).

Особенность данных исследований, в частности, заключалась в том, что во всех записях (с облучением и даже без него) отмечались статистически значимые различия между результатами, полученными в разные минуты регистрации (рисунок 2, рисунок 3). Дело в том, что были использованы очень большие объемы вариационных рядов. Это позволяло улавливать любые минимальные отклонения в импульсном потоке, которые неминуемо должны существовать в условиях живого организма. Частотный анализ активности одиночных нейронов при данных эпохах записи не мог дать такие сведения [8, 11, 16, 17].

В контрольных исследованиях колебания средних величин межспайковых интервалов были чрезвычайно малы, хотя статистически значимы (рисунок 1). Они происходили по внешним относительно объекта исследования и внутренним причинам, которые не имели отношение к изучаемым факторам. Отклонения показателей могли быть как в виде некоторого увеличения, так и уменьшения (рисунок 2, рисунок 3), что имело равную вероятность. Исследование рисунка импульсных потоков популяций корковых нейронов в интактных условиях

представляет самостоятельный интерес. В некоторой мере закономерности нейронных импульсных потоков коры в отсутствие внешних воздействий нами уже проанализированы [25, 26].

Облучение $0,2-0,3$ мВт/см² вызывало отчетливое уменьшение средних величин межспайковых интервалов с одновременным уменьшением и средних квадратичных отклонений. В первую минуту после прекращения воздействия эти изменения были выражены даже в большей степени, чем непосредственно во время него (рисунок 1). При этом сходные перестройки отмечались в подавляющем большинстве сделанных записей (рисунок 2, рисунок 3).

Облучение $0,4$ мВт/см² по суммарным результатам приводило к сдвигам той же направленности. Но величина эффекта была значительно ниже. Кроме того, эти изменения преобладали во время облучения, а не после его прекращения (рисунок 1). При рассмотрении поведения отдельных нейронных популяций не было выявлено лидирование какой-либо направленности изменений (рисунок 2, рисунок 3).

Облучение $0,5$ мВт/см² продуцировало перестройки совершенно иного характера. Происходило увеличение средних величин межспайковых интервалов и средних квадратичных отклонений. Эффект был выражен преимущественно в первую минуту после прекращения воздействия (рисунок 1). Изменения данной направленности наблюдались в большинстве проведенных записей (рисунок 2, рисунок 3).

Облучение 40 мВт/см² тоже вызывало увеличение средних величин межспайковых интервалов и средних квадратичных отклонений, что было представлено довольно равномерно во время облучения и в первую минуту после него (рисунок 1). Раздельный анализ поведения популяций нейронов показал выраженное доминирование перестроек именно такого типа (рисунок 2, рисунок 3).

Наличие положительной взаимосвязи изучаемых показателей перед облучением, во время него и после его прекращения установлено посредством корреляционного анализа (коэффициент корреляции от $0,7$ до $0,9$; $p < 0,01$). Эти результаты

свидетельствуют о малой роли исходных значений в направленности изменений при облучении в данных исследованиях. Однако, они не служат отрицанием возможности различий характеристик электрических реакций на электромагнитные поля при разных уровнях функционального состояния, что отмечается в иных ситуациях [1, 17] и может быть связано с весьма существенными отклонениями ряда исходных значений от их средних величин.

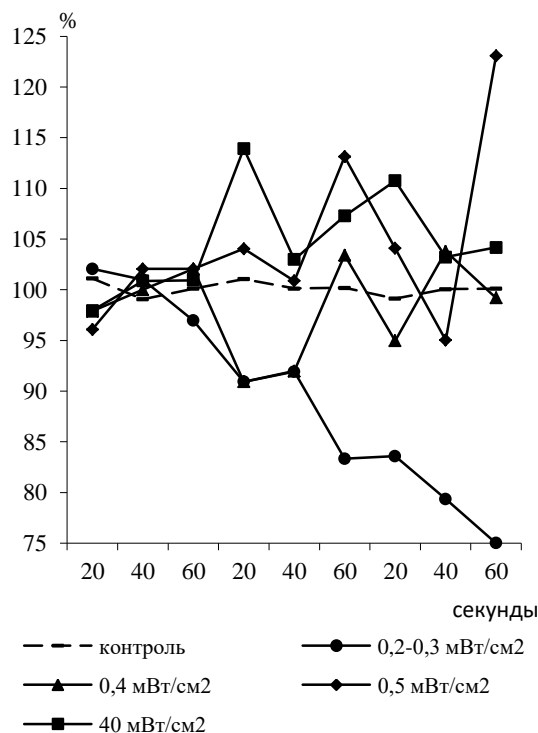
Модельный подход к рассмотрению зависимости значений показателей во время и после воздействия от таковых до воздействия дал возможность выявить, что в 83% случаев наиболее адекватным описанием является линейная функция: $y(x) = Ax + B$, коэффициенты в которой определяются преимущественно интенсивностью облучения. Зависимость значения среднего квадратичного отклонения от величины среднего межспайкового интервала также описывалось линейной функцией. При этом коэффициент B стремился к 0, а коэффициент A - к 1,4.

Анализ импульсных потоков по эпохам 20 секунд позволил рассмотреть динамику перестроек в результате облучения. Полученные сведения представлены на рисунке 4. Изменение средних величин межспайковых интервалов при всех использованных интенсивностях облучения происходило в течение первых 20 секунд воздействия. При интенсивностях облучения 0,2-0,3 и 0,4 мВт/см² оно было в виде уменьшения, а при интенсивностях 0,5 и 40 мВт/см² в виде увеличения. Кроме того, динамику изменений импульсных потоков при всех четырех интенсивностях облучения объединяло последующее понижение сдвигов средних величин межспайковых интервалов во вторые 20 секунд воздействия.

Уменьшение средних величин межспайковых интервалов при использовании облучения 0,2-0,3 мВт/см² было относительно монотонным, что наблюдалось во время и после воздействия. При облучении 0,4 мВт/см² эффект в виде уменьшения средних величин межспайковых интервалов нивелировался к

концу минуты воздействия, однако повторно появлялся после его прекращения (рисунок 4).

Увеличение средних величин межспайковых интервалов при облучении 0,5 мВт/см² носило волнообразный характер с максимальными значениями в первые и последние 20 сек во время воздействия и во второй части минуты после его прекращения. Облучение 40 мВт/см² приводило к увеличению средних величин межспайковых интервалов преимущественно в первые 20 сек во время воздействия и после его прекращения (рисунок 4).



(За 100% приняты средние величины межспайковых интервалов за минуту записи перед началом облучения.)

Рисунок 4 – Динамика средних величин межспайковых интервалов до, во время и после одноминутного СВЧ облучения

Заключение

Таким образом, в настоящих исследованиях были установлены следующие основные положения:

Во-первых, СВЧ облучение при одноминутной экспозиции вызывает перестройки в импульсных потоках

популяций корковых нейронов, что касается средних величин межспайковых интервалов и их средних квадратичных отклонений. Обнаруженные изменения могут служить основой для появления сдвигов в интеграции информации, поскольку именно деятельность "neuronal circuits" является определяющим базисом когнитивных функций [27, 28].

Во-вторых, перестройки импульсных потоков корковых нейронов в результате одноминутного СВЧ облучения обуславливаются интенсивностью последнего. При 0,2-0,3 и 0,4 мВт/см² доминирует направленность сдвигов в сторону уменьшения средних величин межспайковых интервалов. При повышении интенсивности только до 0,5 мВт/см² и при довольно высокой интенсивности 40 мВт/см² лидируют сдвиги противоположного знака. Надо учесть, что физические различия в интенсивностях облучения 0,2-0,3; 0,4 и 0,5 мВт/см² невелики. Кроме того, эти интенсивности, в отличие от 40 мВт/см², можно рассматривать как близкие к пороговым для появления ЭЭГ реакций. Тем не менее, интенсивности 0,2-0,3 и 0,5 мВт/см² вызывают противоположные перестройки импульсных потоков. А интенсивность 0,4 мВт/см², хотя и приводит к статистически значимым отклонениям изучаемых показателей, но эти сдвиги являются наименьшими из исследованных. Отсутствие линейности в отношении интенсивности облучения и наблюдаемых эффектов, по-видимому, связано со сложностью и многокомпонентностью самих перестроек в деятельности нейронных популяций под его влиянием.

В-третьих, перестройки нейронной активности, возникающие под влиянием одноминутного СВЧ облучения, состоят из визуально преимущественно отдельных сдвигов во время и после воздействия с дополнительными колебаниями показателей внутри указанных периодов, что имеет сходство с изученными нами ранее ЭЭГ реакциями на различные ЭМП [1, 4, 5, 6, 7]. Обнаруженные изменения в импульсных потоках популяций корковых нейронов включают в себя, по крайней мере, два

компонента - сдвиги в результате облучения и таковые, продуцируемые в моменты начала и прекращения воздействия. Направленности тех и других могут не совпадать. Ситуация еще осложняется дополнением элементов адаптационного характера. Характеристики слагаемых компонентов перестроек нейронной активности могут иметь различные зависимости от интенсивности облучения. Поэтому их резюмирующий вид качественно и количественно полностью не отражает происходящие сдвиги в деятельности нейронных популяций. В частности, это могло иметь место при облучении 0,4 мВт/см². Не исключено, что внешнее отсутствие изменений нейронной активности в ряде случаев является лишь следствием взаимного нивелирования сдвигов противоположной направленности.

В-четвертых, выраженная зависимость эффектов облучения от его интенсивности, а также результаты корреляционного и модельного анализа взаимосвязи характеристик импульсных потоков нейронов до, во время и после воздействия свидетельствуют о малой роли исходных показателей в направленности изменений. При относительной стабильности экспериментальных условий лидирующее значение в типах перестроек в деятельности популяций корковых нейронов принадлежит интенсивности облучения.

Проведенные исследования необходимы для понимания электромагнитной ситуации на Земле и при анализе соответствующих проблем, связанных с космосом.

Список литературы

1. Чиженкова Р.А. Исследование роли специфических и неспецифических образований в электрических реакциях мозга кролика, вызываемых электромагнитными полями УВЧ и СВЧ и постоянным магнитным полем: Дисс. канд. мед. наук. – М.: Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии, 1966. – 212 с.
2. Холодов Ю.А. Мозг в электромагнитных полях. – М.: Наука, 1983. – 121 с.

3. Chizhenkova R.A. Electromagnetic fields: biological effects and hygienic standardization / Eds. M.H. Repacholi, N.B. Rubtsova, and A.M. Muc. – Geneva: World Health Organization. 1999. – P. 389-395.
4. Чиженкова Р.А. // Журнал высш. нервн. деят. – 1967. Т. 17. N 2. – С. 313-321.
5. Чиженкова Р.А. // Физиол. ж. СССР. – 1967. Т. 53. N 5. – С. 514-519.
6. Чиженкова Р.А. // Журнал высш. нервн. деят. – 1967. Т. 17. N 6. – С. 1083-1090.
7. Chizhenkova R.A. // Electro- and Magnetobiol. – 1996. V. 15. N 3. – P. 253-258.
8. Чиженкова Р.А. // Журнал высш. нервн. деят. 1969. Т. 19. N 3. – С. 495-501.
9. Файтельберг-Бланк В.Р., Перевалов Г.М. // Докл. АН СССР. – 1978. Т. 239. N 1. – С. 242-243.
10. Чиженкова Р.А. Проблемы электромагнитной биологии / Ред. Ю.А. Холодов, Н.Н. Лебедева. – М.: Наука, 1988. – С. 24-31.
11. Chizhenkova R.A. // Bioelectromag. – 1988. V. 9. N 3. – P. 337-345.
12. Chizhenkova R.A., Safroshkina A.A. // Bioelectrochem. and Bioenerg. – 1993. V. 30. N 1. – P. 287-291.
13. Chizhenkova R., Safroshkina A., Pylyukh T. // Microwaves in medicine. – Rome: University of Rome, 1993. – P. 289-292.
14. Чиженкова Р.А. // Магнитобиология. – 1994. N 1. – С. 45-47.
15. Захарова Р.М. // Биофизика. – 1995. Т. 40. N 3. – С. 695-696.
16. Лукьянова С.Н., Рынсков И.И., Макаров В.П. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1995. Т. 35. N 1. – С. 53-56.
17. Лукьянова С.Н., Моисеева Н.В. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1998. Т. 38. N 5. – С. 763-768.
18. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. – М.: Наука, 1968. – 286 с.
19. Schwan H.P., Foster K.R. // Proc. IEEE. – 1980. V. 68. N 1. – P. 104-113.
20. Dormont J., Schmied A., Conde H. // Exp. Brain Res. – 1982. V. 48. N 3. – P. 315-322.
21. Johnson J.L. // Brain Res. – 1994. V. 666. N 1. – 125-127.
22. Гасанов У.Г. Системная деятельность корковых нейронов. – М.: Наука, 1981. – 110 с.
23. Урбах В.Ю. Математическая статистика для биологов и медиков. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 323 с.
24. Гуревич В.Л., Карпов А.П. Многомерный статистический анализ в медицине. – Свердловск: Уральский научный центр, 1983. – 106 с.
25. Чиженкова Р.А. Структурно-функциональная организация сенсомоторной коры (морфологический, электрофизиологический и нейромедиаторный аспекты). – М.: Наука, 1986. – 241 с.
26. Chizhenkova R.A., Chernukhin V.Yu. // J. Biol. Physics. – 2000. V. 26. N 1. – P. 67-75.
27. Muller R., Reinhardt J., Strickland M.T. Physics of neural Networks. Neural networks: An introduction. Springer-Verlag, 1995. – 330 p.
28. Cellular and molecular mechanisms underlying higher neural function./Eds. A.L. Selverston and P. Ascher. – N.Y.: J.Wiley & sons, 1994. – 328 p.
29. Лукьянова С.Н. Электромагнитное поле СВЧ диапазона нетепловой интенсивности как раздражитель для центральной нервной системы. – М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2015. – 200 с.
30. Чиженкова Р.А. Динамика нейрофизиологических исследований действия неионизирующей радиации во второй половине XX века. – М.: Из. дом АЕН, 2012. – 88 с.

Принято в печать 02.11.202

