

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского

Серия «Биология, химия». Том 19 (58). 2006. № 2. С. 3-16.

УДК 591.18:615.849.11

ЗАВИСИМОСТЬ АНАЛЬГЕТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ ОТ НАЛИЧИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ И ЭКСПОЗИЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Джелдубаева Э.Р., Чуян Е.Н.

Опыт современного отечественного и зарубежного здравоохранения убедительно свидетельствует о том, что прогресс медицины невозможен без широкого использования в профилактике, лечении и реабилитации больных физических факторов. С одной стороны это связано с определенным кризисом и не оправдавшимися надеждами фармакотерапии, с другой, с возрастающей эффективностью применения физических методов лечения, в частности, электромагнитных излучений (ЭМИ) различных диапазонов и интенсивностей, широко используемых в настоящее время в медицинской практике. При этом сформированы следующие основные направления: магнитотерапия – низкочастотный диапазон, ультравысокочастотная (УВЧ) и сверхвысокочастотная (СВЧ) терапии, крайневысокочастотная (КВЧ) физио- и рефлексотерапия, лазеротерапия (инфракрасный видимый диапазон), ультрафиолетовая (УФ) терапия (табл. 1). Среди вышеперечисленных наиболее пристальное внимание уделяется низкоинтенсивным ЭМИ миллиметрового или КВЧ-диапазона (от 30 до 300 ГГц), т.к. именно в этом диапазоне обнаружено наличие частотных резонансов в реакциях биообъектов на ЭМИ [1].

Неспецифичность реакций организма, неинвазивность воздействия, отсутствие побочных эффектов, наряду с высокой терапевтической эффективностью и широким спектром поддающихся лечению заболеваний, привлекают все более широкое внимание ученых и практических врачей к КВЧ-терапии [1]. Среди изученных эффектов ЭМИ КВЧ уже известны иммуномодулирующий, антистрессорный, антиоксидантный, синхронизирующий, противовоспалительный, радиопротекторный и некоторые другие [3 – 5]. В предыдущих исследованиях нами показано также выраженное антиноцептивное действие ЭМИ КВЧ при различных болевых стрессах у крыс [6]. Кроме того, выявлено, что биологическая эффективность ЭМИ КВЧ зависит от параметров воздействия: длины волн [7, 8], плотности потока мощности [9], частоты модуляции [10, 11], экспозиции [5, 12, 13], локализации [5, 14, 15], продолжительности курсового воздействия [6]. Выше

перечисленные особенности биологического действия ЭМИ КВЧ налагают определенные требования, как к аппаратуре, так и к методике КВЧ-воздействия для получения оптимального результата.

Таблица 1.
Шкала электромагнитных излучений (по Бецкому О.В. и соавт., 2004)

Радиоволновой диапазон				Сверхвысочастотный диапазон (СВЧ)				Оптический диапазон			Диапазон ионизирующих излучений	
$\lambda=1000$ м	$\lambda=100-$ 1000 м	$\lambda=10-$ 100 м	$\lambda=1-$ 10 м	$\lambda=10-$ 100 см	$\lambda=1-10$ см	$\lambda=1-10$ мм	$\lambda=0.1-$ 1 мм	$\lambda=100-$ 0,76-0,4 мкм	$\lambda=0,76-$ 0,4 мкм	$\lambda=400-$ 40 нм	$\lambda=10-$ 0,01 нм	$\lambda=0,01-$ 0,0001 нм
Сверх- длин- ные волны	Длин- ные волны	Сред- ние волны	Корот- кие волны	Леди- метро- вые волны	Сантиметро- вые волны	Миллиметро- вые волны	Субмилиметро- вые волны	Инфра- красное излуче- ние (ИК)	Види- мые излуче- ния	Уль- тра- фиоле- товые излу- чение (УФ)	Рентге- новское излуче- ние	Гамма- излуче- ние
Этот диапазон давно и широко применяется в различных радиотехнических устройствах для передачи информации (радио, телевидение и др.). За него утвердилось название «радиоволновой диапазон». Некоторых его участков использованы для создания медицинской аппаратуры	Техническое использование СВЧ-диапазона начало бурно развиваться во второй половине XX века в связи с развитием радиолокации, радиорелейных линий, спутниковых систем связи, систем управления мобильных телефонов и др. Электронные приборы СВЧ дали возможность создавать медицинскую аппаратуру для диагностики и терапии многих заболеваний.	Эти виды излучения представляют значительный интерес для применения их в медицине, особенно после появления лазеров в ИК, видимом и УФ диапазонах спектра, а также с появлением ксеноновых излучателей и усовершенствованных ртутных ламп	Радиационные или ионизирующие излучения являются самыми первыми видами электромагнитных излучений, которые с конца XIX века начали применяться в медицине для диагностики и лечения злокачественных новообразований									

На наш взгляд, повысить эффективность антиоцидентивного влияния КВЧ-излучения можно с учетом технических характеристик используемой аппаратуры, экспозиции, продолжительности, локализации воздействия, учетом индивидуальных особенностей биологических объектов, циркадианной ритмики болевой чувствительности.

В связи с этим целью данного исследования является исследование зависимости анальгетического действия ЭМИ КВЧ ($7,1 \text{ мм}^2; 0,1 \text{ мВт}/\text{см}^2$) от наличия поляризации и экспозиции воздействия при экспериментально вызванной тонической боли у крыс.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для изучения антиоцидентивного действия ЭМИ КВЧ при экспериментально вызванной болевой реакции проведено исследование на взрослых белых крысах-самцах линии Вистар массой 180-220 грамм (n = 78), полученных из питомника научно-исследовательского института биологии Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. Для экспериментов отбирали животных со средним уровнем двигательной активности и низкой

ЗАВИСИМОСТЬ АНАЛЬГЕТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

эмоциональностью, определяемых в тесте «открытого поля», которые, согласно нашим [16] и литературным данным [17], преобладают в популяции и, следовательно, можно утверждать, что именно у этих животных развивается наиболее типичная реакция на любое воздействие.

Всех животных распределили на девять равнозначных групп по шесть особей в каждой (рис. 1). Крыс всех групп подвергали подкожной инъекции 5%-ного раствора формалина (0,08 мл на 100 грамм веса) в дорсальную поверхность стопы задней конечности крыс. Эта модель «формалинового теста» (ФТ) является классической моделью определения эффективности анальгетического действия фармакологических препаратов и физиотерапевтических факторов [18]. Животные первой группы (ФТ) подвергались только инъекции формалина и составляли контрольную группу относительно других групп крыс. Животных второй, третьей, четвертой и пятой групп подвергали воздействию ЭМИ КВЧ с помощью терапевтического генератора «КВЧ. РАМЕД-ЭКСПЕРТ – 01» с длиной волны 7,1 мм (частота излучения – 42,3 ГГц), плотностью потока мощности 0,1 мВт/см² и излучателем, выполненным в виде «точки» (Т) (габаритные размеры – 18 x 23 мм) (рис. 2 – А). При этом животные второй группы подвергались 15-минутному облучению (T₁₅+ФТ); третьей – 30-минутному облучению (T₃₀+ФТ); четвертой – 60-минутному облучению (T₆₀+ФТ); пятой – дробному режиму облучения (ряд коротких сеансов (по 5 минут) с перерывами (по 5 минут) общей продолжительностью воздействия 30 минут) (T_д+ФТ). Крысы шестой – девятой групп подвергались воздействию ЭМИ КВЧ с помощью аппарата «РАМЕД РЭМО» с длиной волны 7,1 мм, плотностью потока мощности 0,1 мВт/см² и излучателем, выполненным в виде «антенны» (А), в котором использована эллиптическая правосторонняя поляризация (рис. 2 – Б) с экспозицией 15 (A₁₅+ФТ), 30 (A₃₀+ФТ) и 60 минут (A₆₀+ФТ), а также дробного (A_д+ФТ) режима облучения.

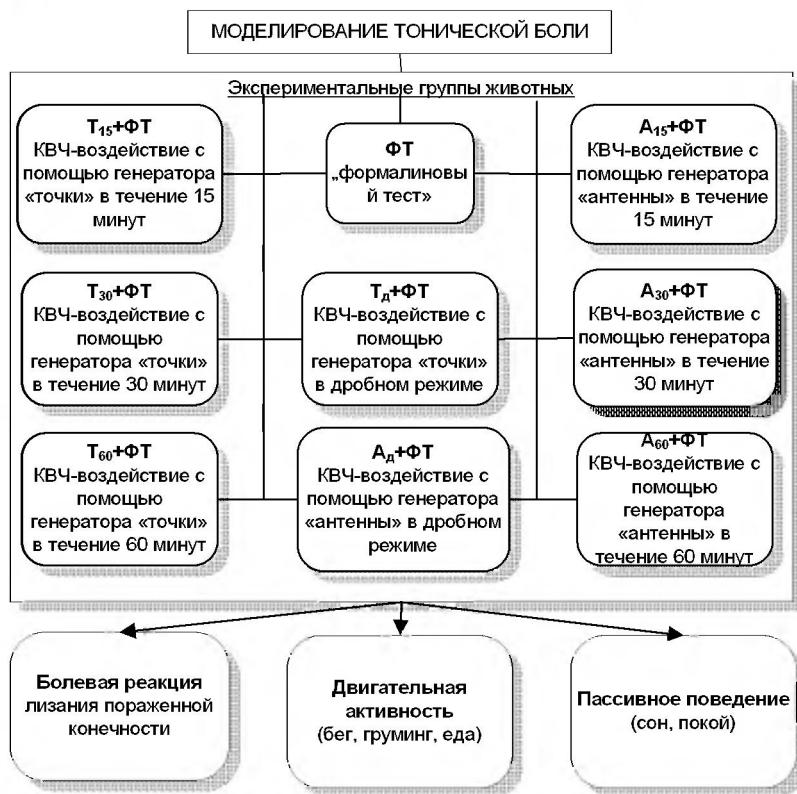
Все аппараты изготовлены Центром радиофизических методов диагностики и терапии «РАМЕД» Института технической механики НАНУ, г. Днепропетровск. Локализация воздействия – затылочно-воротниковая область. Это связано с тем, что данная область у человека и животных является одной из основных рефлексогенных зон, где обнаружено большое количество рецепторных окончаний, сосудов микроциркуляторного русла, лимфатических сосудов, биологически активных точек, тучных клеток, т.е. именно тех элементов, которые в настоящее время рассматриваются в качестве первичных мишенией для волн миллиметрового диапазона [19]. Животных первой группы (ФТ) подвергали минимуму воздействию ЭМИ КВЧ («плацебо») той же локализации и продолжительности, однако генераторы были отключены от сети питания.

После инъекции каждую крысу возвращали в свою клетку и с помощью специальной компьютерной программы регистрировали на протяжении 60 минут продолжительность поведенческих (болевой и неболевых) реакций. Показателем интенсивности болевой реакции у крыс служила продолжительность лизания пораженной конечности. Для исследования анальгетической эффективности воздействия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ с помощью излучателя в форме «точки» и «антенны» с правосторонней эллиптической поляризацией и различной экспозицией была введена формула:

$$A_s = 100 - (\tau_{rc} / \tau_{\phi}) * 100$$

где A_s – анальгетическая эффективность экспериментального воздействия, τ_ϕ – общая продолжительность болевой реакции у крыс контрольной группы, подвергнутых инъекции формалина, τ_{ϕ_x} – общая продолжительность болевой реакции у крыс экспериментальных групп, подвергнутых КВЧ-излучению с или без поляризацией и различной экспозицией.

Рис. 1. Схема организации экспериментов по исследованию зависимости антиноцицептивного



действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ от технических характеристик генератора (волновод в форме «точки» (T) и «антенны» с правосторонней эллиптической поляризацией (A)) и экспозицией воздействия (15, 30, 60 минут и дробного (д) режима) у крыс при экспериментально вызванной тонической боли.

ЗАВИСИМОСТЬ АНАЛЬГЕТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

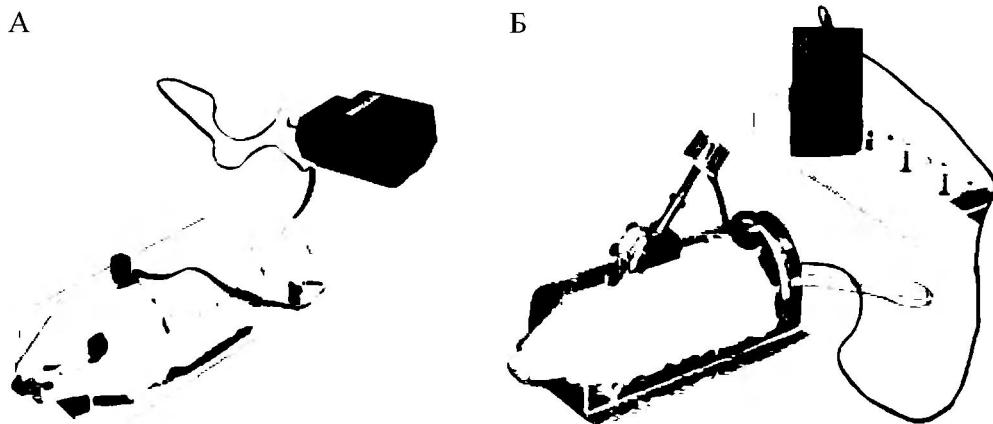


Рис. 2. Экспериментальное воздействие низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ) с помощью аппарата «КВЧ. РАМЕД-ЭКСПЕРТ – 01» (А) и «РАМЕД РЭМО» (Б).

Неболевые поведенческие реакции были рассмотрены в аспектах продолжительности двигательной активности и пассивного поведения. При этом двигательная активность оценивалась по сумме времени перемещения животных по клетке и времени, затраченного животными на принятие пищи и груминг. Длительность пассивного поведения представляла сумму времени, затраченную животными на сон и покой.

Учитывая тот факт, что у грызунов болевой порог в течение суток варьирует [20], эксперименты проводились в одно и то же время светлой половины суток (с 9.00 до 11.00 часов).

После проверки данных на закон нормального распределения, статистическую обработку проводили с помощью параметрических методов. В качестве критерия оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали *t*-критерий Стьюдента. Обработка результатов производилась на ПК с использованием стандартных статистических программ.

Эксперименты проводились с соблюдением принципов «Европейской конвенции о защите позвоночных животных, которые используются для экспериментальных и других научных целей» (Страсбург, 1986) и постановления первого национального конгресса по биоэтике (Киев, 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты исследования, введение раствора формалина вызывало у крыс первой группы (ФТ) бурную двухфазную реакцию лизания пораженной конечности, общей продолжительностью $1003,69 \pm 30,12$ с за 60 минут наблюдения. Первая фаза болевой реакции регистрировалась в течение первых десяти минут наблюдения и ее продолжительность составила $170,00 \pm 16,99$ с. Известно, что данная ранняя фаза, длившаяся первые 5-10 минут после инъекции, обусловлена возникновением компонента острой боли «формалинового теста»

и связана в основном с прямой активацией тонких немиелиновых С-волокон, большинство из которых передает импульсацию от болевых рецепторов [18, 21]. Затем через 10 минут наблюдалось развитие второй фазы общей продолжительностью $833,69 \pm 28,59$ с. Вторая фаза «формалинового теста» регистрировалась в течение 60 минут, т.е. полного угасания болевой реакции к концу наблюдения не наблюдалось. Показано, что вторая тоническая фаза является результатом развития воспалительного процесса в периферических тканях и изменений функций задних рогов серого вещества спинного мозга, где лежат нейроны болевых восходящих путей [22] и, по существу, является тоническим компонентом поведенческой болевой реакции.

Продолжительность двигательной активности животных первой группы составила $173,33 \pm 36,42$ с (реакции бега – $136,83 \pm 10,07$ с, груминга – $16,00 \pm 5,37$ с, приема пищи – $0,85 \pm 0,37$ с), а пассивного поведения – $2452,50 \pm 50,38$ с. Сопоставление полученные данных с результатами предыдущих исследований [23] свидетельствует о значительном снижении двигательной активности и увеличении продолжительности пассивного поведения у крыс этой группы по сравнению со значениями этих показателей у животных, которым вместо формалина вводили 0,9 % раствор NaCl. То есть данные этого исследования свидетельствуют о том, что болевой стресс, вызванный введением формалина, вызывает у животных общий двигательный дефицит, защитную реакцию «затаивания», являющуюся результатом эмоциональной реакции страха, состояния общего угнетения центральной нервной системы животного [24] или проявления депрессивно-подобного состояния [25, 26].

1. Антиноцептивное действие ЭМИ КВЧ с экспозицией 15 минут. При 15-минутном режиме КВЧ-воздействия наиболее выраженное антиноцептивное действие ЭМИ КВЧ было обнаружено при использовании генератора КВЧ-излучения с поляризацией ($A_{15} + \text{ФТ}$). Так, общая продолжительность болевой реакции лизания пораженной конечности у животных данной группы была меньше на 66,86 % ($p < 0,01$) относительно значений у животных первой группы (ФТ). Продолжительность острого компонента болевой реакции в «формалиновом тесте» уменьшилась на 25,88 % ($p < 0,05$), а тонического – на 57,94 % ($p < 0,01$) относительно значений у крыс первой контрольной группы (рис. 3 – Б). Анализ общей продолжительности неболевых поведенческих реакций показал наиболее выраженное увеличение продолжительности двигательной активности в 7,59 раза (реакций бега – в 5,71 раз ($p < 0,001$), приема пищи – в 404,18 раза ($p < 0,001$) и груминга – на 2,69 раза ($p < 0,01$)), а также тенденцию к уменьшению пассивного поведения (на 16,75 % ($p > 0,05$)) относительно значений соответствующих показателей у животных, подвергнутых изолированной инъекции формалина (рис 4 – Б).

У крыс, подвергнутых воздействию ЭМИ КВЧ с помощью генератора без поляризации ($T_{15} + \text{ФТ}$) общая продолжительность болевой реакции также уменьшилась на 54,69 % ($p < 0,01$) (первой острой фазы – на 2,55 % ($p > 0,05$), а второй тонической фазы – на 57,94 % ($p < 0,01$)) относительно значений данного

ЗАВИСИМОСТЬ АНАЛЬГЕТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

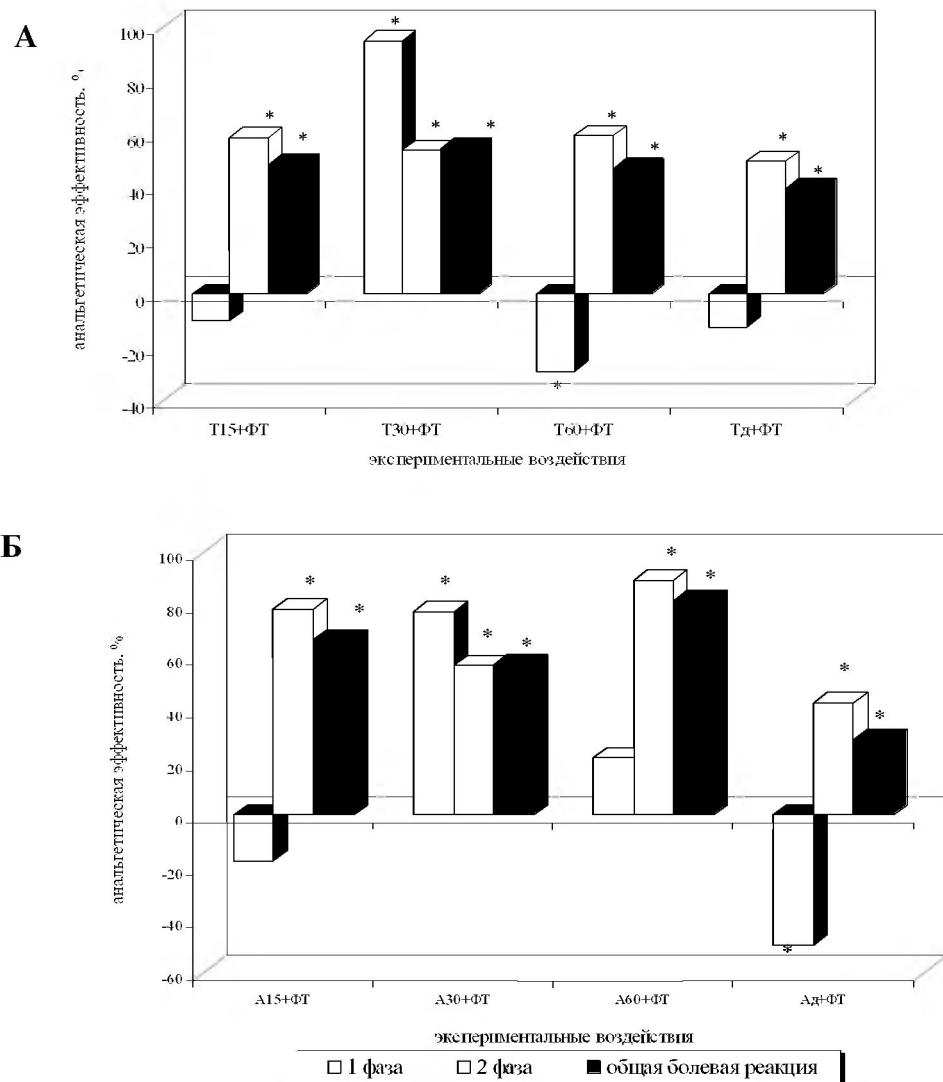


Рис. 3. Сравнение анальгетического действия (в %) низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты при различных технических характеристиках генератора (излучателем в форме «точки» (T) (A) и «антенны» (B) с правосторонней эллиптической поляризацией (A)) и экспозицией в 15, 30, 60 минут и дробного (д) режима облучения на продолжительности первой острой, второй тонической фаз и общей болевой реакции у крыс в «формалиновом тесте» (ФТ).

* – достоверность различий относительно значений показателей у животных, подвергнутых изолированному действию болевого стресса.

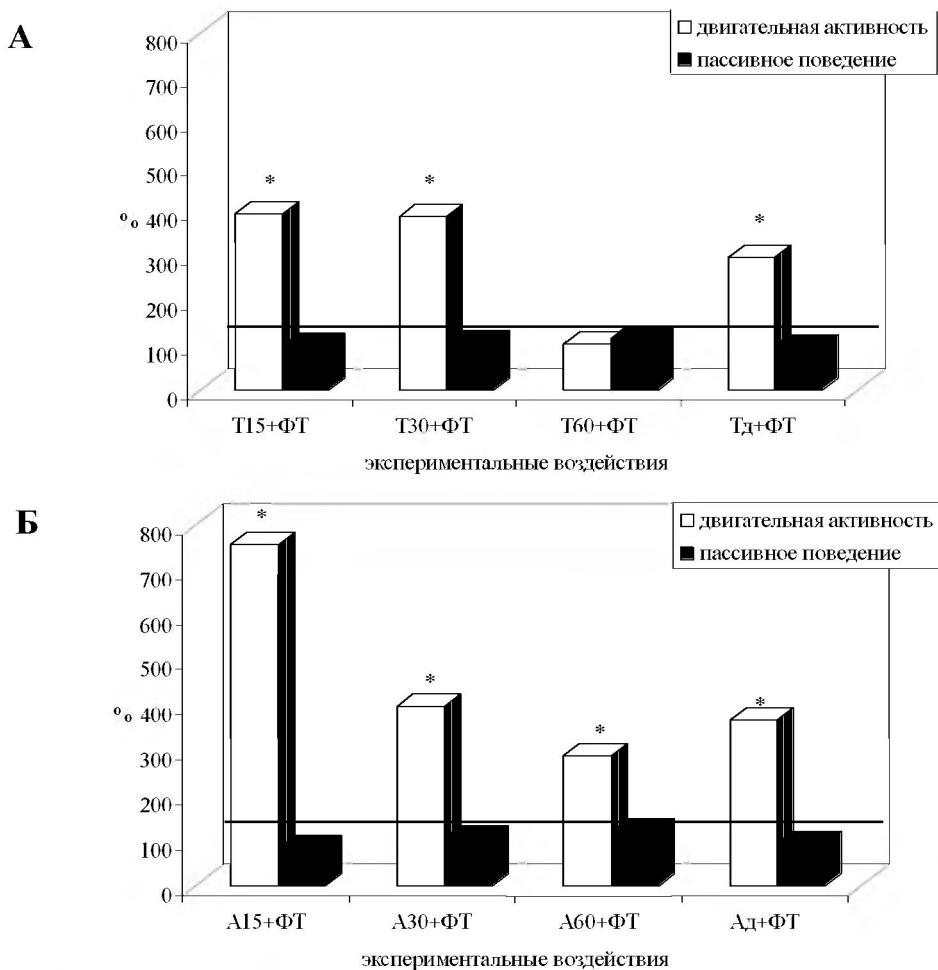


Рис. 4. Общая продолжительность неболевого (двигательная активность и пассивное поведение) поведенческих реакций у крыс в «формалиновом тесте» (ФТ) после воздействия низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты в зависимости от технических параметров генератора (в форме «точки» (Т) (А) и «антенны» (Б) с правосторонней эллиптической поляризацией (А)) и экспозиции воздействия (15-, 30-, 60-минутный и дробный режимы).

* – достоверность различий относительно значений у животных, подвергнутых изолированному и инъекции укусной первой группы (ФТ).

показателя у животных первой группы (ФТ). однако его анальгетическая эффективность была меньше на 35,57 % ($p<0,02$) значений данного показателя у крыс группы A₁₅+ФТ (рис. 3 – А).

ЗАВИСИМОСТЬ АНАЛЬГЕТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

При этом у животных группы $T_{15} + \text{ФТ}$ общая продолжительность двигательной активности увеличилась в 3,96 раза ($p < 0,001$) (бега – в 3,37 % ($p < 0,001$), груминга – в 2,00 раза ($p < 0,01$), приема пищи – в 111,68 раза ($p < 0,001$)), а пассивного поведения имела тенденцию к уменьшению относительно значений соответствующих показателей у животных, подвергнутых изолированной инъекции формалина (рис. 4 – А). Следовательно, воздействие ЭМИ КВЧ, обладая антистрессорным действием [5], увеличивает продолжительность двигательной активности животных в «формалиновом тесте», что способствует снижению эмоциональной реакции страха, развитию адаптивного поведения и свидетельствует об антиноцицептивном действии этого фактора.

Таким образом, наиболее выраженный антиноцицептивный эффект ЭМИ КВЧ при экспозиции в 15 минут наблюдался при КВЧ-воздействии с помощью генератора ЭМИ КВЧ с излучателем типа «антенна» с правосторонней поляризацией ЭМИ.

2. Антиноцицептивное действие ЭМИ КВЧ с экспозицией 30 минут. При увеличении экспозиции ЭМИ КВЧ до 30 минут наблюдалось увеличение антиноцицептивного действия ЭМИ КВЧ у животных групп $T_{30} + \text{ФТ}$ на 11,93 % ($p > 0,05$) относительно значений у животных, подвергнутых КВЧ-воздействию соответствующим генератором, но с экспозицией 15 минут (рис. 3 – А). По сравнению со значениями данного показателя у крыс первой контрольной группы (ФТ) продолжительность болевой реакции уменьшилась на 48,56 % ($p < 0,01$) (ранней острой фазы – на 75,59 % ($p < 0,01$), второй тонической фазы – на 50,43 % ($p < 0,01$)). Анализ общей продолжительности неболевых поведенческих реакций у животных показал, что продолжительность двигательной активности у животных данной группы увеличилась в 3,96 раза ($p < 0,001$) (бега – в 2,71 раза ($p < 0,001$), груминга – в 12,54 раза ($p < 0,001$), приема пищи – в 30,96 раза ($p < 0,001$)), а пассивного поведения имела тенденцию к повышению – в 1,04 раза ($p > 0,05$) по сравнению со значениями соответствующих показателей у животных, подвергнутых изолированному воздействию болевого фактора.

Таким образом, при 30-минутной экспозиции наиболее выраженный анальгетический эффект наблюдался при использовании генератора ЭМИ КВЧ без поляризации, однако его антиноцицептивное действие было ниже, чем при использовании генератора с правосторонней поляризацией ЭМИ и экспозицией 15 минут.

3. Антиноцицептивное действие ЭМИ КВЧ с экспозицией 60 минут. Анализ общей продолжительности болевой поведенческой реакции у животных группы $T_{60} + \text{ФТ}$ свидетельствует о снижении эффективности анальгетического действия КВЧ-излучения при 60-минутном воздействии, что проявилось в тенденции к увеличению продолжительности болевой реакции на 14,20 % ($p > 0,05$) по сравнению со значениями этого показателя у крыс, которые подвергались 30-минутному режиму облучения с помощью генератора с соответствующими параметрами излучения, однако продолжительность болевой реакции уменьшилась на 47,19 % ($p < 0,01$) относительно значений у крыс контрольной группы, подвергнутых лишь инъекции формалина. У животных группы $T_{60} + \text{ФТ}$ длительность второй тонической фазы «формалинового теста» уменьшилась на 57,66 % ($p < 0,01$), тогда как длительность первой острой фазы имела тенденцию к повышению (на 3,95 % ($p > 0,05$)) относительно значений у животных контрольной группы (ФТ). Также отмечались недостоверные изменения продолжительности неболевых поведенческих реакций –

двигательная активность имела тенденцию к уменьшению (на 2.85 % ($p>0.05$), а пассивное поведение – к увеличению (на 12.87 % ($p>0.05$)) по сравнению со значениями данных показателей у крыс в первой группе (ФТ).

Максимальное антиноцицептивное действие относительно других групп животных наблюдалось у крыс группы А₆₀+ФТ, продолжительность болевой реакции которой было меньше на 81.50 % ($p<0.001$) (первой острой фазы – на 21.82 % ($p<0.05$), а второй тонической – на 89.47 % ($p<0.001$)) относительно значений у животных первой группы (ФТ). Анальгетический эффект при использовании данного генератора экспозицией 60 минут был меньше на 56.52 % ($p<0.01$) по сравнению со значениями этого показателя при использовании данного генератора при экспозиции 30 минут.

Анализ общей продолжительности неболевого поведенческих реакций у животных группы А₆₀+ФТ, что продолжительность двигательной активности увеличилась в 2.89 раза ($p<0.001$) (реакции бега – в 2.81 раза ($p<0.001$), груминга – в 3.67 раза ($p<0.001$)), а также пассивного поведения – в 1.21 раза ($p<0.05$) относительно данных значению у животных, подвергнутых только действию болевого фактора.

Таким образом, при 60-тиминутной экспозиции максимальный антиноцицептивный эффект КВЧ-воздействия наблюдался при использовании излучателя типа «антенна» с правосторонней поляризацией ЭМИ. При этом данная экспозиция и тип генератора показали наибольшее анальгетическое действие относительно других экспозиций и генераторов.

4. Антиноцицептивное действие ЭМИ КВЧ с экспозицией дробного режима облучения. При дробном режиме облучения наблюдалось уменьшение антиноцицептивного действия ЭМИ КВЧ при использовании генераторов обоих типов по сравнению данными КВЧ-облучения соответствующих генераторов, но экспозицией в 15, 30 и 60 минут. Однако относительно значений у животных контрольной группы (ФТ) продолжительность болевой реакции у крыс данных групп (Т_д+ФТ и А_д+ФТ) уменьшилась на 39.63 % ($p<0.02$) и 28.86 % ($p<0.05$) соответственно. Так, длительность первой острой фазы «формалинового теста» у животных данных групп увеличилась на 22.96 % ($p<0.05$) и на 22.84 % ($p<0.05$), а второй тонической фазы, напротив, уменьшилась на 53.78 % ($p<0.01$) и на 40.79 % соответственно относительно значений данных показателей у животных контрольной группы (ФТ) (рис 3). Общая продолжительность двигательных неболевых поведенческих реакций у животных, подвергнутых дополнительному КВЧ-воздействию при дробном режиме облучения увеличилась в среднем в 2.67 раз ($p<0.01$): пассивного поведения незначительно повысилась (в среднем на 5.48 % ($p>0.05$)) по сравнению с соответствующими значениями у животных, подвергнутых изолированной инъекции формалина (рис. 4).

Следовательно, при дробном режиме облучения наибольшее антиноцицептивное действие ЭМИ КВЧ отмечалось при использовании генератора без поляризации. Однако анальгетическая эффективность дробного режима облучения была меньше, чем при использовании непрерывного воздействия разной продолжительности.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что при КВЧ-воздействии разной экспозиции наблюдается выраженный антиноцицептивный эффект в «формалиновом teste», имитирующем хроническое болевое раздражение, когда на первый план выступают центральные механизмы афферентации в условиях ноцицепции и

ЗАВИСИМОСТЬ АНАЛЬГЕТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

антиноцицепции [27]. Однако величина оказываемого антиноцицептивного эффекта ЭМИ КВЧ на организм животных зависит от продолжительности однократного воздействия и параметров ЭМИ. Положительные антиноцицептивные результаты зарегистрированы уже при 15-ой экспозиции ЭМИ КВЧ, особенно при использовании аппарата «РАМЕД РЭМО» с излучателем в форме «антенны», в котором реализована правосторонняя эллиптическая поляризация. По-видимому, поляризация ЭМИ является физиологически адекватным положительным модифицирующим фактором болевой реакции и, характеризуясь пространственно-временной упорядоченностью ориентации электрического и магнитного векторов излучения, обладает очень низкой (неповреждающей) интенсивностью потока энергии, обеспечивающей прямую доставку квантов энергии непосредственно к клеткам, расположенным на коже или слизистых, а также к форменным элементам крови, проходящей в кожных капиллярах. При этом развивается комплекс биофизических ответных реакций, общим итогом которых является многоуровневая оптимизация клеточной функции [28, 29]. Существуют физиотерапевтические аппараты, излучающие видимый поляризованный некогерентный низкоэнергетический (пайлар) свет [30, 31]. В частности, показано выраженное антиноцицептивное действие при использовании аппаратов Биоптрон (фирма «Цептер», Швейцария), излучающих линейно-поляризованный свет с длиной волны 80-3400 нм (видимый спектр).

При увеличении экспозиции до 30-ти минут биологический эффект изучаемого воздействия на организм становится более стабильным. При непрерывном 30-тиминутном режиме облучения максимальный анальгетический эффект достигается при использовании генератора ЭМИ КВЧ без поляризации. Дальнейшее увеличение экспозиции приводит к снижению анальгетического эффекта воздействия, что и наблюдалось в нашем исследовании при 60-тиминутном облучении у животных подвергнутых КВЧ-воздействию с помощью излучателя типа «точка». При КВЧ-воздействии с помощью излучателя – «антенны» с использованием правосторонней эллиптической поляризации с 60-минутной экспозицией достигается максимальный анальгетический эффект. При дробном же режиме облучения наблюдается минимальный антиноцицептивный эффект ЭМИ КВЧ с использованием всех типов генераторов. Кроме того, по-видимому, для каждого вида живых организмов и достижения определенного биологического эффекта оптимальные экспозиции ЭМИ КВЧ разные и зависят от многих факторов.

Полученные нами результаты о зависимости анальгетического действия ЭМИ КВЧ от экспозиции воздействия согласуются с имеющимися в литературе сведениями. Так, многие авторы указывают на то, что увеличение времени воздействия приводит к усилинию активности действия КВЧ-терапии [32, 33]. В частности, бактерицидное действие и мембранотропные эффекты ЭМИ КВЧ, полученные на *E.coli*, зависели от длительности облучения [34]. Максимальные изменения в геноме политетенных хромосом личинок *Chironomus plumosus* наблюдалось при кратковременном (15 минут) облучении и регистрировалось через один-два часа после прекращения КВЧ-воздействия, причем, при увеличении времени облучения наблюдалась своеобразная адаптация генетической системы, проявляющаяся отсутствием изменений [13]. Эффект увеличения скорости оседания эритроцитов при воздействии ЭМИ (61.22 ГГц, ППМ=10 мкВт/см²) *in vitro* наблюдался при времени облучения не менее 30 минут [35]. В наших предыдущих исследованиях показана зависимость

антистрессорного эффекта ЭМИ КВЧ при гипокитнетическом стрессе от продолжительности воздействия [5]. Так, положительные результаты зарегистрированы уже при 15-минутном облучении, при увеличении экспозиции до 30-ти минут биологический эффект изучаемого воздействия становится более стабильным, а при экспозиции 60 минут действие ЭМИ менее эффективно, чем аналогичное действие в течение 15-30 минут.

Известно, что боль – это сложная реакция организма, которая зависит от взаимодействия систем, проводящих «болевую» импульсацию и деятельности эндогенных противоболевых систем центральной нервной системы [27]. Можно предположить, что разница в продолжительности болевой реакции у крыс разных экспериментальных групп, рассмотренных в данном исследовании, указывает на разную степень активизации КВЧ-воздействием антиноцицептивных и антиноцицептивных систем организма.

Проведенные исследования показали, что с помощью подбора параметров облучения появляется возможность более успешной мобилизации резерва организма и достижения максимального антиноцицептивного эффекта, что позволяют расширить возможности применения КВЧ-терапии, а также могут быть использованы в животноводстве, ветеринарии, производственной деятельности людей, в практическом здравоохранении в целях использования нового немедикаментозного анальгетического средства.

ВЫВОДЫ

1. Выявлена зависимость анальгетического действия ЭМИ КВЧ (7,1 мм; 0,1 мВт/см²) от наличия поляризации и экспозиции воздействия при экспериментально вызванной тонической боли у крыс.
2. Положительный антиноцицептивный эффект ЭМИ КВЧ отмечается уже при экспозиции ЭМИ 15 минут, особенно выраженный при использовании КВЧ-воздействия с правосторонней эллиптической поляризацией.
3. Увеличение экспозиции ЭМИ КВЧ до 30-ти минут приводит к увеличению анальгетического эффекта.
4. Максимальный антиноцицептивный эффект зарегистрирован при использовании ЭМИ КВЧ с правосторонней эллиптической поляризацией и экспозицией 60 минут.
5. Минимальный антиноцицептивный эффект ЭМИ КВЧ зарегистрирован при дробном режиме облучения.

Список литературы

1. Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы. – М.: Наука. 2004. – 272 с.
2. Холодов Ю.А. Начальная адаптационная реакция мозга на электромагнитные поля // Сб. докл. 11 Российского симп. с международ. участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии». – М.: МИА КВЧ. 1997. – С. 156-167.
3. Бессонов А.Е., Балакирев М.В. Способ миллиметрово-волновой терапии // Вестник новых медицинских технологий. – 1998. – Т. 5. № 2 – С. 105-108.
4. Лобода В.Ф., Зоря Л.В., Боярчук О.Р. Імунорегулююча дія НВЧ-терапії при хронічній гастродуоденальній патології у дітей // Матеріали I національного конгресу фізіотерапевтів і курортологів України «Фізичні чинники в медичній реабілітації». – Хмільник. 1998. – С. 112-113.
5. Чуюн Е.Н. Нейроімуноендокринні механізми адаптації до дії низько інтенсивного електромагнітного випромінювання надто високої частоти: Автореф. дис... докт. біол. наук: 03.00.13. – Київ. 2004. – 40 с.

ЗАВИСИМОСТЬ АНАЛЬГЕТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

6. Джелдубаева Э.Р., Чуян Е.Н., Московских А.А. Предварительное антистрессорное действие низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты при экспериментальном болевом стрессе у крыс // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2005. – Т. 18 (57). № 3. – С. 56-65.
7. Малышев И.В., Шиурченко А.А. Опыт лечения ряда гинекологических заболеваний с использованием миллиметровых волн нетепловой интенсивности // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 1992. – № 1. – С. 62-64.
8. Хоменко А.Г., Новикова Л.Н., Каминская Г.О., Ефимова Л.Н., Голант М.Б. Оценка функционального статуса фагоцитов крови при выборе оптимального режима КВЧ-терапии у больных туберкулезом легких // Сб. докладов 10 Российской симпоз. с междунар. участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – М.: МТА КВЧ. – 1995. – Т. 9-10. – С. 13-15.
9. Лебедева Н.Н., Котровская Т.П. Экспериментально-клинические исследования в области биологических эффектов миллиметровых волн // Миллиметровые волны в биологии и медицине – 1999. – № 3 (15). – С. 3-15.
10. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Особенности медико-биологического применения миллиметровых волн. – М.: Изд-во ИРЭ РАН. 1994. – 164 с.
11. Самосюк И.З., Куликович Ю.Н., Тамарова З.А., Самосюк Н.И., Кажанова А.К. Подавление боли низкоинтенсивными частотно-модулированными миллиметровыми волнами при воздействии на точки акупунктуры // Вестник физиотерапии и курортологии. – 2000. – № 4. – С. 7-11.
12. Киричук В.Ф., Головачева Т.В., Семенова С.В. Влияние различных режимов КВЧ-терапии на состояние системы гемостаза у больных острым инфарктом миокарда // Сб. докл. Междунар. симпоз. «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине». – Т. 1. – М.: ИРЭ АН СССР. – 1991. – С. 65-69.
13. Бриль Г.Е., Панина Н.П., Невская Е.Ю. Действие электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на политечные хромосомы *Chironomus riparius* // Миллиметровые волны в биологии и медицине – 2000. – № 1 (17). – С. 3-7.
14. Хромова С.В. Модификация миллиметровыми излучениями поведенческих реакций крыс. Автореф. дис... канд. биол. наук: – М.: Ин-т ВНД и НФ РАН., 1990. – 20 с.
15. Теппоне М.В. КВЧ-пунктура. – М.: Логос-Колояро. 1997. – 314 с.
16. Чуян Е.Н. Влияние миллиметровых волн нетепловой интенсивности на развитие гипокинетического стресса у крыс с различными индивидуальными особенностями: Автореф. дисс. ... канд-та биол. наук 03.00.13 / СГУ. – Симферополь, 1992. – 20 с.
17. Сантиана Вега Л. Роль индивидуальных особенностей двигательной активности в развитии гипокинетического стресса у крыс: Автореф. дис... канд. биол. наук 03.00.13 / СГУ. – Симферополь, 1991. – 21 с.
18. Dubuisson D., Dennis S.G.. The formalin test: a quantitative study of the analgesic effects of morphine, meperidine and brainstem stimulation in rats and cats // Pain. –1997. – С 4. – Р. 161-164.
19. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н. Современные представления о механизмах воздействия низкоинтенсивных миллиметровых волн на биологические объекты// Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2001. – № 3 (24). – С. 5-19.
20. Golombok D.A., Esclar E., Burin L.J. et al. Time-dependent melatonin analgesia in mice: inhibition by opiate or benzodiazepine antagonist // Eur. J. Pharmacol. – 1991. – V.194. №1. – P. 25-30.
21. Oyama T., Ueda Y., Kuraishi Y., Akaike A., Satoh V. Dual effect of serotonin on formalin-induced nociception in the rat spinal cord // Neuroscience Research. – 1996. – V. C 25. – P. 129-135.
22. Shibata M., Ohkubo T., Takahashi H., Inoki R. Modified formalin test: characteristic biphasic pain response // Pain. – 1989. – V. 38, № 3. – P. 347-352.
23. Чуян Е.Н. Джелдубаева Э.Р. Антиноцицептивное действие низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты при тонической боли у крыс // Ученые записки Таврического национального университета. Серия «Биология, химия». – 2005. – Т. 18 (57). № 2. – С. 178-188.
24. Симонов П.В. Эмоциональный мозг. – М.: Наука, 1981. – 216 с.
25. Henry J.P., Steffen P.N. Stress, Health and Society Environment.– A. Sociobiological Approach to Medicine. N.Y.: Springer, 1977. – 267 р.
26. Pare W.P. Open field, learned helplessness, conditioned defensive burying, and forced-swim tests in WKY rats // Physiol. Behav. – 1994. – V. 55. – P. 433-439.

27. Калюжный Л. В. Физиологические механизмы регуляции болевой чувствительности. – Москва. Медицина. 1984. – 215 с.
28. Gimsa J., Wachner D. A polarization model overcoming the geometric restrictions of the Laplas solution for shperoidal cell. obtaining new equations for field-induced forces and transmembrane potential // Biophys J., September 1999. – V.77, № 3. – P. 1316-1326.
29. Kashimori Y., Funakubo H., Kambara T. Effect of Syncytium Structure of Receptor Systems on Stochastic Resonance Induced by Chaotic Potential Fluctuation // Biophys J., October 1998. – Vol. 75, № 4. – P. 1700-1711.
30. Лиманський Ю.П., Тамарова З.А., Гуляр С.О., Бідков Е.Г. Дослідження анальгетичної дії поляризованого світла на точки акупунктури // Фізiol. журн. – 2000. – т.46, № 6. – С.105-111.
31. Гуляр С.А., Лиманський Ю.П. Функціональна система регуляції електромагнітного баланса: Механізми первичної рецепції електромагнітних волн оптического діапазона // Фізiol журн. – 2003. – Т. 49, № 2. – С. 35-44.
32. Абшилава Д.О., Зданович О.Ф., Кичаев В.А. и др. Особенности воздействия электромагнитных волн миллиметрового диапазона на реологические свойства крови // Электронная промышленность. – 1988. – Вып. 8. – С. 22-23.
33. Пославский М.В., Зданович О.Ф., Жуковицкий А.В. и др. Основные механизмы клинической эффективности применения КВЧ-терапии // Тезисы докл. VII Всесоюз. семинара «Применение КВЧ-излучений низкой интенсивности в биологии и медицине». – М.: ИРЭ АН СССР. - 1989. – С.5.
34. Трчуян А., Оганджанян Е., Саркисян Э. и др. Мембронотропные эффекты электромагнитного излучения крайне высоких частот на *Escherichia coli* // Биофизика. – 2001. – Т. 46, №1. – С.69-76.
35. Рыбалко С.Ю., Кацев А.И., Бисюк Ю.А., Горлов А.А., Чирский Н.В. Низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ диапазона ускоряет СОЭ и изменяет агрегацию эритроцитов человека // Таврический медико-биологический вестник. – 2002. – Т. 5, № 4. - С. 124 – 127.

Поступила в редакцию 13.04.2006 г.