
Оригинальная статья

Поведенческие реакции белых крыс-самцов в условиях стресса: влияние непрерывного режима облучения электромагнитными волнами терагерцевого диапазона на частотах оксида азота

Антипова О.Н., Киричук В.Ф., Крылова Я.А.

ГБОУ ВПО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, Саратов, Россия

Поступила в редакцию 11 ноября 2015 г. Принята в печать 16 декабря 2015 г.

© 2015, Антипова О.Н., Киричук В.Ф., Крылова Я.А.

© 2015, Психосоматические и интегративные исследования

Резюме:

Сравнительный анализ влияния волн терагерцевого диапазона частот 150, 176-150, 664 ГГц оксида азота на поведенческие реакции белых крыс-самцов на фоне гипокинетического стресса показал, что выявленные нарушения полностью или частично нормализуются, причем наиболее эффективным является непрерывный 30-ти минутный режим облучения.

Ключевые слова: гипокинетический стресс, поведенческие реакции, терагерцевое облучение, оксид азота

Библиографическая ссылка: Антипова О.Н., Киричук В.Ф., Крылова Я.А. Поведенческие реакции белых крыс-самцов в условиях стресса: влияние непрерывного режима облучения электромагнитными волнами терагерцевого диапазона на частотах оксида азота. Психосоматические и интегративные исследования 2015; 1: 0202.

Original article

Behavioral reactions of male white rats under stress: the influence of cw mode irradiation with THz-band electromagnetic waves on a frequency of nitrogen oxide

Antipova O.N., Kirichuk V.F., Krylova Ya.A.

SBEI HPE Saratov State Medical University named after V.I. Razumovskiy, Ministry of Health of the Russian Federation, Saratov, Russia

Received on 11 November April 2015, Accepted on 16 December 2015

© 2015, Antipova O.N., Kirichuk V.F., Krylova Ya.A.

© 2015, Psychosomatic and Integrative Research

Abstract:

Comparative study of the effect of THz-band waves on a frequency of nitrogen oxide 150,176 – 150,664 GHz on behavioral reactions of male white rats under hypodynamic stress revealed that the detected abnormalities normalize fully or partially, besides the most effective is 30-minute continuous wave mode.

Keywords: hypodynamic stress, behavioral reactions, terahertz irradiation, nitrogen oxide.

Cite as Antipova O.N., Kirichuk V.F., Krylova Ya.A. Behavioral reactions of male white rats under stress: the influence of cw mode irradiation with thz-band electromagnetic waves on a frequency of nitrogen oxide. Psychosomatic and Integrative Research 2015; 1: 0202.

Введение

Терагерцевая терапия (ТГЧ-терапия) может являться новым перспективным немедикаментозным методом лечения различных заболеваний [1], поскольку в настоящее время большое внимание уделяется вопросам взаимодействия биологических объектов с терагерцевым диапазоном частот, в том числе и на частотах молекулярного спектра излучения и поглощения (МСИП) оксида азота

– 150,176-150,664 ГГц [2,3,4]. Терагерцевый диапазон частот (100ГГц – 10ТГц) интересен тем, что именно в нём, в основном, сосредоточены частотные спектры поглощения и излучения важнейших клеточных метаболитов (NO, O₂, CO₂, CO, OH- и др.) [1].

Экспериментальные исследования в условиях *in vitro* по воздействию ЭМИ ТГЧ на частотах МСИП оксида азота (150,176 – 150,664 ГГц) на плазму, обогащенную тромбоцитами, и цельную кровь больных нестабильной и стабильной стенокардией, у которых процессы агрегации тромбоцитов и эритроцитов нарушены, показали существенное влияние данного диапазона волн на восстановление функционального состояния кровяных пластинок и эритроцитов, а также реологические свойства крови. [5].

Результаты экспериментальных исследований влияния терагерцевых волн на частотах оксида азота 150,176-150,664 ГГц и атмосферного кислорода 129,0 ГГц свидетельствуют о положительном энергетическом воздействии указанных частот на функциональную активность тромбоцитов [3,6], гемокоагуляционные и фибринолитические свойства крови [7], газовый и электролитный состав крови [8], процессы липопероксидации и антиоксидантные свойства крови [8, 9], функциональное состояние щитовидной железы [10], основные показатели метаболического статуса [11], уровень кортикостерона в крови [12], рецепторный аппарат форменных элементов крови [13], состояние эндотелия сосудов [14] и микроциркуляции [4].

Оксид азота является важнейшим естественным регулятором внутриклеточных и межклеточных взаимодействий [15,16,17,18]. Он выполняет целый ряд важнейших функций в организме, являясь нейромедиатором, мощным фактором гемостаза, антиагрегантом, эндогенным вазодилататором [16,19,20,21]. Показано, что оксид азота обладает стресс-лимитирующим эффектом [22].

В результате исследований по изучению влияния электромагнитных полей (ЭМП) на поведение человека и животных была установлена роль рецепторов в реализации биоэффекта ЭМП, обнаружено прямое их действие на мозг, глию мозга, мембраны нейронов, память, условно-рефлекторную деятельность, обнаружено изменение функции гематоэнцефалического барьера [23,24]. Кроме того, ЭМП увеличивают двигательную активность и вызывают эпилептические разряды при записи электроэнцефалограммы, происходит стимуляция гипофизарно-адреналиновой системы с увеличением уровня адреналина в крови, активацией процесса свертывания крови [25].

Электромагнитные излучения терагерцевого диапазона достаточно широко вошли в медицинскую практику и показали свою эффективность в лечении широкого круга заболеваний, оказывая нормализующее (восстанавливающее) действие на основные механизмы развития общепатологических процессов, лежащих в основе многочисленных заболеваний [26,27,28,29,30].

Актуальность работы обусловлена поиском новых немедикаментозных методов коррекции стрессорных повреждений организма, а именно поведенческих реакций, лежащих в основе нормальной его жизнедеятельности, вызванных гипокинезией. Показано, что терагерцевая терапия (ТГЧ-терапия) может являться новым перспективным немедикаментозным методом лечения.

Целью работы является: 1) поиск немедикаментозных методов коррекции изменённых стрессором поведенческих реакций животных и 2) сравнительный анализ различных временных режимов воздействия волн терагерцевого диапазона частот 150,176-150,664 ГГц оксида азота на стресс-зависимые изменения в поведенческих реакциях белых крыс-самцов в состоянии острого стресса.

Объекты и методы исследования

Для достижения поставленной цели проводили изучение поведенческих реакций у 75 белых крыс-самцов массой 180-220 г. В качестве модели стресса использовался гипокинетический стресс, который моделировался путем помещения животных в индивидуальные клетки-пеналы на 3 часа [31].

Исследование проведено на 5 группах белых крыс-самцов, в каждой из которой было по 15 особей: 1-я группа – контрольная – интактные крысы-самцы; 2-я группа – сравнительная, включающая крыс-самцов, находящихся в состоянии гипокинетического стресса; 3-я, 4-я, 5-я группы – опытные, в которых крыс-самцов облучали волнами терагерцевого диапазона на частотах 150,176-150,664 ГГц оксида азота непрерывно в течение 5, 15 и 30 минут соответственно.

Для исследования поведенческих реакций были выбраны тесты: «Открытое поле», «Приподнятый крестообразный лабиринт» и «Темно-светлая камера».

Длительность теста «Открытое поле» составляла 5 минут. В ходе эксперимента были использованы следующие показатели поведенческих реакций: число пересеченных квадратов (горизонтальная двигательная активность), стойки (вертикальная двигательная активность) и число обследованных отверстий-«норок» (исследовательская активность). Отдельно регистрировали также неспецифическое поведение животных – число болюсов дефекации, частоту актов и суммарную продолжительность груминга в секундах.

В тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт» были использованы следующие поведенческие показатели: число выходов в открытые рукава лабиринта (исследовательская активность), число стоек (вертикальная исследовательская активность), количество заглядываний вниз из концов закрытых рукавов («оценка риска»), а также число переходов через центральную платформу лабиринта. Длительность тестирования составляла 5 минут.

При проведении теста «Темно – светлая камера» продолжительность тестирования составляла 5 минут, при этом были использованы следующие поведенческие показатели исследовательской активности животных: число и латентность (сек) выглядываний из темного отсека в светлый через отверстие в перегородке, а также количество выходов в светлый отсек, суммарная длительность (в сек) выглядываний и выходов в освещенную часть камеры. Показателем неспецифического поведения служила интенсивность дефекаций – число болюсов, обнаруженных в темном отсеке после окончания тестирования.

Животные поставлялись из вивария ГБОУ ВПО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского», где содержались в стандартных условиях. Все животные при проведении эксперимента находились в одинаковых условиях. Опыты проводились в отдельной лаборатории, исключающей посторонние раздражители, при постоянной температуре воздуха 18-22°C, со стандартным уровнем освещения, влажностью воздуха 50-70%. При содержании в лаборатории животных обеспечивали сбалансированным кормом и водой без ограничения. Для формирования экспериментальных групп отбирали половозрелых животных одинакового возраста, пола и веса. Подобный отбор позволил сформировать однородные группы животных с одинаковыми конституциональными особенностями, однотипно реагирующих на действие различных стрессорных факторов.

Для проведения процедуры облучения животных изымали из пеналов и помещали на специальной столик, фиксируя при помощи лигатур, наложенных на конечности и резцы верхней челюсти. Учитывая тот факт, что фиксация при проведении облучения является дополнительным стрессором для животных, мы формировали группу условно интактных (контрольных) животных, которых также фиксировали на 30 минут. При сравнении изучаемых показателей поведенческих реакций статистически достоверных отличий между группой контроля и группой условно интактных животных мы не выявили. Вероятно, в данном случае происходит компенсированная (слабая) стресс-реакция, и в ответ на слабый раздражитель активируются ауторегуляторные механизмы – стресс-лимитирующие системы, которые способствуют сохранению поведенческих реакций животных.

Облучение животных осуществлялось малогабаритным генератором «КВЧ-NO-Орбита», разработанным в Медико-технической ассоциации КВЧ (г. Москва) и ОАО ЦНИИИА (г. Саратов), на частотах МСИП оксида азота 150,176-150,664 ГГц [32]. Аппарат предназначен для оказания терапевтического воздействия на организм животных электромагнитными волнами на частотах молекулярного спектра излучения и поглощения оксида азота самостоятельно или в сочетании с другими лечебными средствами. Аппарат состоит из генератора на диоде Ганна, согласующей мембраны, закрытой круглой металлической диафрагмой с диаметром отверстия 4 мм, корпуса и экранированного шнура питания для соединения с блоком питания. В блоке питания находится силовой трансформатор, выпрямитель, стабилизатор напряжения для диода Ганна и модулятора частоты электромагнитных колебаний.

Аппарат работает от сети переменного тока напряжением 220+10% вольт, рассчитан на эксплуатацию при температуре от +10 до +35 °C и при относительной влажности воздуха до 80% (при температуре +25 °C). Время непрерывной работы аппарата не более 2-х часов.

Структура молекулярного ТГЧ-спектра ЭМИ на частотах МСИП оксида азота формируется этим генератором в соответствии с методами, предложенными и реализованными в квазиоптическом КВЧ генераторном комплексе моделирования детерминированных шумов для биофизических исследований, разработанным в ОАО ЦНИИИА г. Саратова.

Облучалась поверхность кожи площадью 3 см² над областью мечевидного отростка грудины. Облучатель располагался на расстоянии 1,5 см над поверхностью тела животного. Мощность излучения генератора составляла 0,7 мВт, а плотность мощности, падающей на участок кожи размером 3 см², — 0,2 мВт/см². Доза облучения определялась плотностью мощности, падающей на кожу, и заданным временем облучения. Продолжительность однократного облучения составляла 5, 15 и 30 минут.

Эксперименты на животных проводились в соответствии с требованиями «International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals» (Geneva, 1990). Статистическая обработка полученных результатов проводилась при помощи пакета программ Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

Показано, что гипокинетический стресс приводит к развитию выраженной стресс-реакции, проявляющейся в изменении поведения животных: повышение уровня тревожности характеризует снижение вертикальной и горизонтальной двигательной активности, а так же исследовательской активности по сравнению с группой контроля. В тесте «Открытое поле» наблюдается снижение количества пересеченных квадратов, стоек, числа заглядываний в «норки» у 93,3 % животных, а также изменение неспецифического поведения животных – увеличение актов дефекаций на 93,3 % по сравнению с контрольной группой (табл. 1). Это свидетельствует о высоком уровне тревожности животных, подвергнутых гипокинетическому стрессу. Повышение уровня дефекации является неспецифическим маркером стресс-реакции.

Показано понижение числа пересечений центральной платформы, выходов в открытые рукава лабиринта, стоек и заглядываний вниз из концов открытых рукавов в тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт» у 100 % стрессированных животных по сравнению с группой контроля, что доказывает снижение двигательной и исследовательской активности животных, подвергнутых гипокинетическому стрессу (табл. 2). В тесте «Темно-светлая камера» наблюдается уменьшение числа и длительности выходов из темного отсека камеры в светлый у 100 % стрессированных животных, а также уменьшение числа и длительности выходов из темного отсека камеры в светлый у 86,6 % стрессированных животных по сравнению с группой контроля (табл. 3). Следовательно, гипокинетический стресс вызывает выраженные изменения в поведенческих реакциях белых крыс.

Исследование влияния различных временных режимов непрерывного облучения белых крыс-самцов в состоянии гипокинетического стресса электромагнитными волнами ТГЧ диапазона на частотах МСИП оксида азота 150,176-150,664 ГГц доказывает разную их эффективность. Так, при 5-ти минутном непрерывном облучении стрессированных животных терагерцевыми волнами на изучаемых частотах оксида азота не происходит значительных изменений двигательной и исследовательской активности животных в тестах «Открытое поле», «Приподнятый крестообразный лабиринт» и «Темно-светлая камера» по сравнению с группой стресса. Так, характеризуя такие показатели поведенческих реакций как, во-первых, количество пересеченных квадратов, стоек, заглядываний в «норки» в тесте «Открытое поле» отмечено, что в опытной группе животных они в

66,6 %, в 53 % и в 53 % случаев соответственно не отличаются от группы стресса (табл. 1); во-вторых, количество пересечений центральной платформы у 46 % животных, выходов в открытые рукава у 53 % животных, число заглядываний вниз из концов открытых рукавов и стоек у 80 % животных в тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт», а также количество выходов и выглядываний из темного отсека камеры в светлую в 53 % случаев у опытной группы животных не отличаются от группы животных в состоянии гипокинетического стресса (табл. 2,3). Это свидетельствует о низкой эффективности данного режима облучения в предотвращении нарушений поведенческих реакций белых крыс-самцов.

Воздействие непрерывного 15-ти минутного режима облучения электромагнитными волнами ТГЧ диапазона на частотах МСИП оксида азота 150,176-150,664 ГГц на белых крыс-самцов, находящихся в состоянии гипокинетического стресса, оказывает положительное влияние на поведенческие реакции животных. Так, происходит частичное восстановление показателей поведенческих реакций животных, нарушенных гипокинетическим стрессом. В тесте «Открытое поле» у 86,6 % животных увеличивается горизонтальная двигательная активность, которую характеризует число пересеченных квадратов (табл. 1), что можно рассматривать как тенденцию к восстановлению нарушенной стрессом двигательной активности. В тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт» количество стоек у 73 % животных увеличилось по сравнению с группой стресса (табл. 2). Полученные данные свидетельствуют об эффективности непрерывного 15-ти минутного облучения в отношении показателей вертикальной двигательной активности животных. Длительность выходов из темного отсека в светлый группы стрессированных животных, подвергшихся непрерывному 15-ти минутному облучению терагерцевыми волнами на частотах МСИП оксида азота 150,176-150,664 ГГц, в тесте «Темно-светлая камера» в 100 % случаев не отличается от группы контроля (табл.3). Следовательно, 15-ти минутный непрерывный режим облучения терагерцевыми волнами на частотах МСИП оксида азота 150,176-150,664 ГГц является эффективным в отношении некоторых показателей двигательной и исследовательской активности, нарушенных гипокинетическим стрессом.

Непрерывный 30-ти минутный режим облучения белых крыс-самцов в состоянии гипокинетического стресса электромагнитными волнами ТГЧ диапазона на частотах МСИП оксида азота 150,176-150,664 ГГц оказывает выраженное корригирующее влияние на поведенческие реакции стрессированных животных. Так, происходит восстановление таких показателей поведенческих реакций животных как двигательная и исследовательская активность в тестах «Открытое поле», «Приподнятый крестообразный лабиринт» и «Темно-светлая камера». Количество пересеченных квадратов, стоек и заглядываний в «норки» у стрессированных животных совместно с терагерцевым облучением в тесте «Открытое поле» в 100 % случаев не отличаются от контрольной группы животных (табл.1). Число пересечений центральной платформы, выходов в открытые рукава, заглядываний вниз из концов открытых рукавов и стоек группы животных в состоянии стресса совместно с облучением терагерцевыми волнами в тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт» в 93.3 % случаев не отличаются от контрольной группы животных (табл. 2). В тесте «Темно-светлая камера» количество выходов и выглядываний и их длительность из темного отсека камеры в светлую в 86,6 % случаев у опытной группы животных не отличаются от контрольной группы (табл. 3). Полученные данные согласуются с результатами экспериментальных исследований других авторов об индивидуальной чувствительности животных к воздействию ТГЧ-облучения одного пола, массы и возраста [33]. Результаты проведенного исследования свидетельствует о высокой эффективности указанного временного режима облучения в коррекции нарушенных гипокинетическим стрессом поведенческих реакций белых крыс-самцов.

Анализируя полученные результаты, хотелось бы отметить, что в основе неблагоприятных последствий стресса – дисбаланс деятельности стресс-реализующих и стресс-лимитирующих систем [22]. При действии чрезмерных по силе или продолжительности раздражителей происходит срыв стресс-лимитирующих систем, которые способны ограничивать повреждающее действие гормонов и медиаторов стресс-реализующих систем. В настоящее время принято различать центральные (ГАМК, опиоидэргические) и периферические (простагландинов, антиоксидантов, оксида азота) стресс-лимитирующие системы. Абсолютно уникальной является стресс-лимитирующая система оксида азота, которая имеет как центральный, так и периферический компонент [22]. Условно можно выделить три уровня реализации эффектов повышения активности NO под влиянием ТГЧ-воздействия на поведенческие реакции животных при стрессе: аутокринное действие; паракринное действие, экстравазальные эффекты и NO-зависимые изменения нервной и гуморальной регуляции [29]. В реализации биологического эффекта электромагнитных волн указанного диапазона частот оксида азота 150,176-150,664 ГГц ключевое значение имеет регуляция продукции и реакционной способности оксида азота [29], что согласуется с мнением других исследователей [5,11]. Известно, что часть синтезированного оксида азота может связываться в комплексы, которые образуют физиологически активное депо. Это депо может не только связывать, но и постепенно высвобождать NO. Депонирование оксида азота происходит в стенках сосудов и начинается при повышении его концентрации. Доказано, что формирование NO-депо является важной частью адаптивных реакций [22].

Выводы

1) 5-ти минутный непрерывный режим воздействия электромагнитными терагерцевыми волнами на частотах МСИП оксида азота 150,176-150,664 ГГц не оказывал влияния на острые стресс-зависимые нарушения горизонтальной и вертикальной двигательной и исследовательской активности у белых крыс-самцов.

2) Непрерывное 15-ти минутное облучение электромагнитными волнами указанного диапазона частот вызвало лишь частичное восстановление таких показателей поведенческих реакций животных, как горизонтальная двигательная активность в тесте «Открытое поле», вертикальная двигательная активность в тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт» и исследовательская активность в тесте «Темно-светлая камера».

3) Полностью предотвратить стресс-зависимые нарушения горизонтальной и вертикальной двигательной активности, а также исследовательской активности у крыс-самцов удастся, используя 30-ти минутный непрерывный режим воздействия электромагнитными терагерцевыми волнами на частотах МСИП оксида азота 150,176-150,664 ГГц.

Приложение

Таблица 1

Показатели воздействия терагерцевых волн на частотах МСИП оксида азота 150,176-150,664 ГГц на постстрессовые поведенческие реакции белых крыс-самцов в методике «Открытое поле»

Группы	Контроль (n=15)	Гипокинетический стресс (n=15)	Стрессор совместно с непрерывным облучением (n=15)		
			5 минут	15 минут	30 минут
Показатели					
Кол - во пересеченных квадратов	38,20 (29,0; 49,0)	17,00 (13,0; 20,0) $p_1=0,00005$ $z_1=4,56259$	18,13 (13; 21) $p_1=0,000007$ $z_1 = - 4,47963$ $p_2=0,493731$ $z_2 = 0,684388$	23,53 (19; 28) $p_1=0,000284$ $z_1 = - 3,62933$ $p_2=0,006592$ $z_2 = 2,711681$	36,27 (28; 41) $p_1=0,708923$ $z_1 = - 0,373303$ $p_2=0,000005$ $z_2 = 4,56259$
Кол – во стоек	16,60 (13,0; 20,0)	9,60 (5,0; 13,0) $p_1=0,000494$ $z_1=3,48416$	10,20 (6; 14) $p_1=0,000906$ $z_1 = - 3,31825$ $p_2=0,724416$ $z_2 = 0,352564$	12,40 (8; 15) $p_1=0,012822$ $z_1 = - 2,48868$ $p_2=0,184411$ $z_2 = 1,32730$	16,13 (14; 20) $p_1=0,693551$ $z_1 = - 0,394042$ $p_2=0,000906$ $z_2 = 3,31825$
Кол – во актов дефекации	0,87 (0; 2,0)	2,33 (1,0; 4,0) $p_1=0,010745$ $z_1 = - 2,55090$	2,07 (1; 4) $p_1=0,27926$ $z_1=2,19834$ $p_2=0,604127$ $z_2 = - 0,518476$	1,53 (0; 3) $p_1=0,158466$ $z_1 = 1,41025$ $p_2=0,184411$ $z_2 = - 1,32730$	0,87 (0; 1) $p_1=0,787462$ $z_1=0,269607$ $p_2=0,008972$ $z_2 = - 2,61312$
Кол – во актов грумिंगа	3,00 (2,0; 4,0)	0,27 (0; 1,0) $p_1=0,000007$ $z_1=4,50037$	0,40 (0; 1) $p_1=0,000010$ $z_1 = - 4,41741$ $p_2=0,533830$ $z_2=0,622171$	0,73 (0; 1) $p_1=0,000053$ $z_1 = - 4,04411$ $p_2=0,085190$ $z_2 = 1,72134$	2,80 (2; 4) $p_1=0,708923$ $z_1 = - 0,373303$ $p_2=0,000007$ $z_2 = 4,50037$
Общая продолжительность грумिंगа (сек.)	21,40 (10,0; 38,0)	1,33 (0; 4,0) $p_1=0,000003$ $z_1=4,64554$	2,07 (0; 5) $p_1=0,000003$ $z_1 = - 4,64554$ $p_2=0,493731$ $z_2=0,684388$	4,06 (0; 6) $p_1=0,000028$ $z_1 = - 4,18928$ $p_2=0,089019$ $z_2 = 1,70060$	20,20 (10; 28) $p_1=0,819546$ $z_1 = - 0,228129$ $p_2=0,000003$ $z_2 = 4,66628$
Кол – во заглядываний в «норки»	7,00 (4,0; 10,0)	2,73 (1,0; 4,0) $p_1=0,000671$ $z_1=3,40120$	3,07 (2; 4) $p_1=0,001050$ $z_1 = - 3,27677$ $p_2=0,678303$ $z_2=0,414781$	3,67 (3; 4) $p_1=0,004494$ $z_1 = - 2,84125$ $p_2=0,205843$ $z_2 = 1,26508$	7,27 (5; 9) $p_1=0,506915$ $z_1=0,663649$ $p_2=0,000125$ $z_2 = 3,83672$

Примечание: МСИП – молекулярный спектр излучения и поглощения; в каждом случае приведены показатели и ошибка средней величины из 15 измерений: p_1, z_1 - по сравнению с группой контроля; p_2, z_2 - по сравнению с группой животных в состоянии гипокинетического стресса

Таблица 2

Показатели воздействия терагерцевых волн на частотах МСИП оксида азота 150,176-150,664 ГГц на постстрессовые поведенческие реакции белых крыс-самцов в методике «Приподнятый крестообразный лабиринт»

Группы	Контроль (n=15)	Гипокинетический стресс (n=15)	Стрессор совместно с непрерывным облучением (n=15)		
			5 минут	15 минут	30 минут
Показатели					
Кол - во пересечений центральной платформы	4,53 (3; 6)	1,20 (0;2) $p_1=0,000105$ $z_1=3,87820$	1,33 (1; 2) $p_1=0,000174$ $z_1=3,753765$ $p_2=0,787462$ $z_2=-0,269607$	3,19 (1; 4) $p_1=0,004014$ $z_1=2,877070$ $p_2=0,124861$ $z_2=-1,53469$	4,13 (3; 5) $p_1=0,851934$ $z_1=0,186651$ $p_2=0,000105$ $z_2=-3,87820$
Кол – во выходов в открытые рукава	3,13 (2; 4)	0,93 (0; 2) $p_1=0,000053$ $z_1=4,04411$	0,53 (0; 1) $p_1=0,000018$ $z_1=4,292980$ $p_2=0,229030$ $z_2=1,202864$	1,97 (1; 3) $p_1=0,000053$ $z_1=4,041526$ $p_2=0,708923$ $z_2=0,37330$	2,60 (2; 4) $p_1=0,205843$ $z_1=1,265081$ $p_2=0,000391$ $z_2=-3,54637$
Кол – во стоек	6,53 (3; 11)	1,27 (0; 2) $p_1=0,000040$ $z_1=4,10633$	0,87 (0; 1) $p_1=0,000011$ $z_1=4,396675$ $p_2=0,467921$ $z_2=0,725866$	4,97 (2,5; 6,5) $p_1=1,161328$ $z_1=1,400621$ $p_2=0,001404$ $z_2=-3,19381$	6,20 (3; 9) $p_1=0,900972$ $z_1=0,124434$ $p_2=0,000040$ $z_2=-4,10633$
Кол – во заглядываний вниз из концов открытых рукавов	13,33 (5;16)	0,73 (0; 1) $p_1=0,000003$ $z_1=4,66628$	0,6 (0; 1) $p_1=0,000003$ $z_1=4,666283$ $p_2=0,533830$ $z_2=0,622171$	6,65 (1; 8) $p_1=0,000003$ $z_1=4,695427$ $p_2=0,819546$ $z_2=0,22813$	11,67 (5; 16) $p_1=0,803463$ $z_1=0,248868$ $p_2=0,000003$ $z_2=-4,66628$
Кол – во актов дефекации	0,47 (0; 1)	1,47 (1; 2) $p_1=0,000457$ $z_1=-3,50490$	0,73 (0; 1) $p_1=0,361497$ $z_1=-0,912517$ $p_2=0,010745$ $z_2=2,55090$	0,53 (0; 1) $p_1=1,000000$ $z_1=0,000000$ $p_2=0,000457$ $z_2=3,50490$	0,40 (0; 1) $p_1=0,755736$ $z_1=0,311086$ $p_2=0,000242$ $z_2=3,67081$

Примечание: МСИП – молекулярный спектр излучения и поглощения; в каждом случае приведены показатели и ошибка средней величины из 15 измерений: p_1, z_1 - по сравнению с группой контроля; p_2, z_2 - по сравнению с группой животных в состоянии гипокинетического стресса

Таблица 3

Показатели воздействия терагерцевых волн на частотах МСИП оксида азота 150,176-150,664 ГГц на постстрессовые поведенческие реакции белых крыс-самцов в методике «Темно-светлая камера»

Группы	Контроль (n=15)	Гипокинетический стресс (n=15)	Стрессор совместно с непрерывным облучением (n=15)		
			5 минут	15 минут	30 минут
Показатели					
Кол - во выглядываний из темного отсека в светлый	5,00 (4;6)	2,33 (2;3) $p_1=0,000075$	2,47 (2; 3) $p_1=0,000097$	2,93 (2; 3) $p_1=0,000494$	4,67 (4; 6) $p_1=0,724416$

Длительность выглядываний из темного отсека в светлый (сек.)	33,47 (25;39)	$z_1=3,96116$ 16,27 (10;22) $p_1=0,000189$ $z_1=3,73303$	$z_1 = - 3,89894$ $p_2=0,693551$ $z_2 = 0,394042$ 17,27 (11; 23) $p_1=0,000906$ $z_1 = - 3,31825$ $p_2=0,693551$ $z_2 = 0,394042$	$z_1 = - 3,48416$ $p_2=0,085190$ $z_2 = 1,72134$ 18,13 (12; 24) $p_1=0,001130$ $z_1 = - 3,25603$ $p_2=0,430649$ $z_2 = 0,78808$	$z_1 = - 0,352564$ $p_2=0,000174$ $z_2 = 3,75377$ 33,20 (25; 42) $p_1=0,771551$ $z_1 = 0,290346$ $p_2=0,000136$ $z_2 = 3,81598$
Кол - во выходов из темного отсека в светлый	1,93 (1;2)	0,53 (0;1) $p_1=0,000976$ $z_1= 3,29751$	0,67 (0; 1) $p_1=0,002637$ $z_1 = - 3,00716$ $p_2=0,589739$ $z_2 = 0,539215$	0,93 (0; 1) $p_1=0,020192$ $z_1 = - 2,32277$ $p_2=0,213375$ $z_2 = 1,24434$	2,13 (1; 3) $p_1=0,418618$ $z_1 = 0,808822$ $p_2=0,000284$ $z_2 = 3,62933$
Длительность выходов из темного отсека в светлый (сек.)	21,27 (4;40)	6,20 (0;13) $p_1=0,015247$ $z_1=2,42647$	5,93 (0; 13) $p_1=0,025104$ $z_1 = - 2,23982$ $p_2=0,803463$ $z_2 = 0,248868$	7,33 (0; 12) $p_1=0,097092$ $z_1 = - 1,65912$ $p_2=0,575511$ $z_2 = 0,55995$	17,87 (11; 22) $p_1=0,395159$ $z_1 = 0,850300$ $p_2=0,004494$ $z_2 = 2,84125$
Кол – во актов дефекации	0,47 (0;1)	1,33 (1;2) $p_1=0,010745$ $z_1 = - 2,55090$	1,27 (1; 2) $p_1=0,012093$ $z_1 = 2,50942$ $p_2=0,917411$ $z_2 = - 0,103695$	0,93 (0; 2) $p_1=0,119845$ $z_1 = 1,55543$ $p_2=0,290197$ $z_2 = - 1,05769$	0,40 (0; 1) $p_1=0,950390$ $z_1 = 0,062217$ $p_2=0,005114$ $z_2 = - 2,79977$

Примечание: МСИП – молекулярный спектр излучения и поглощения; в каждом случае приведены показатели и ошибка средней величины из 15 измерений: p_1, z_1 - по сравнению с группой контроля; p_2, z_2 - по сравнению с группой животных в состоянии гипокинетического стресса

Список литературы

1. Бецкий О.В., Креницкий А.П., Майбородин А.В., Тупикин В.Д. Биофизические эффекты волн терагерцового диапазона и перспективы развития новых направления в биомедицинской технологии: « Терагерцовая терапия» и « Терагерцовая диагностика». Биомедицинские технологии и радиоэлектроника 2003; 12: 3 – 6.
2. Киричук В.Ф., Иванов А.Н., Антипова О.Н. и др. Влияние КВЧ-НО облучения на функции тромбоцитов и эритроцитов белых крыс, находящихся в состоянии стресса. Цитология 2005; 47 (1): 64-70.
3. Киричук В.Ф., Иванов А.Н., Антипова О.Н. и др. Электромагнитное излучение терагерцового диапазона на частотах оксида азота в коррекции и профилактике нарушений функциональной активности тромбоцитов у белых крыс при длительном стрессе. Цитология 2007; 49 (6): 484-490.
4. Киричук В.Ф., Иванов А.Н., Кириязи Т.С. Восстановление микроциркуляторных нарушений электромагнитным излучением терагерцового диапазона на частотах оксида азота у белых крыс при остром стрессе. Бюллетень экспериментальной биологии и медицины 2011; 151(3): 259-262.
5. Андронов Е.В. Экспериментальное изучение влияния электромагнитных волн терагерцового диапазона на частотах оксида азота на внутрисосудистый компонент микроциркуляции: Автореф. Дисс. ... докт. мед. наук. Саратов, 2008; 50с.
6. Киричук В.Ф., Сухова С.В., Антипова О.Н. Влияние ЭМИ ТГЧ на частоте молекулярного спектра излучения и поглощения кислорода на функциональную активность тромбоцитов белых крыс в состоянии иммобилизационного стресса. Биомедицинские технологии и радиоэлектроника 2008; (12): 40-48.
7. Киричук В.Ф., Цымбал А.А., Креницкий А.П. и др. Применение терагерцового излучения на частоте атмосферного кислорода 129,0 ГГц для коррекции гемокоагуляционных и фибринолитических расстройств. Биомедицинская радиоэлектроника 2009; (9): 11-16.
8. Цымбал А.А., Киричук В.Ф. Особенности влияния терагерцового излучения на частотах оксида азота на показатели газового и электролитного состава крови при различных видах стресса. Бюллетень экспериментальной биологии и медицины 2010; (8): 154-157.
9. Киричук В.Ф., Цымбал А.А. Применение терагерцового излучения на частотах оксида азота для коррекции антиоксидантных свойств крови и перекисного окисления липидов в условиях стресса. Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова 2010; (2): 121-127.
10. Цымбал А.А., Киричук В.Ф., Куртукова М.О. Влияние длительного стресса и терагерцового излучения на частотах оксида азота на функциональную активность щитовидной железы. Саратовский научно-медицинский журнал 2010; (4): 767-771.

11. Цымбал А.А., Киричук В.Ф., Креницкий А.П. и др. Восстановление основных показателей метаболического статуса терагерцовыми волнами на частотах оксида азота 150,176-150,664 ГГц в условиях эксперимента. Биомедицинская радиоэлектроника 2011; (1): 30-35.
12. Цымбал А.А., Киричук В.Ф., Антипова О.Н. Изменения уровня кортикостерона в крови у экспериментальных животных при воздействии терагерцовыми волнами на частоте атмосферного кислорода 129,0 ГГц на фоне острого и длительного стресса. Биомедицинская радиоэлектроника 2011; (8): 23-29.
13. Киричук В.Ф., Свистунов С.В., Андронов Е.В., Иванов А.Н. Изменения активности гликопротеидных рецепторов эритроцитов у белых крыс в состоянии стресса и их коррекция терагерцовыми волнами на частоте оксида азота. Саратовский научно-медицинский журнал 2011; 7 (3): 583-587.
14. Киричук В.Ф., Кириязи Т.С., Иванов А.Н. Влияние электромагнитных волн терагерцового диапазона на частотах оксида азота на функциональное состояние эндотелия сосудов при остром иммобилизационном стрессе у белых крыс. Фундаментальные исследования 2011; (2): 78-82.
15. Реутов В.П., Сорокина Е.Г. NO-синтезазная и нитритредуктазная компоненты цикла оксида азота. Биохимия 1998; 63 (7): 1029 - 1040.
16. Северина И.С. Растворимая форма гуанилатциклазы в молекулярном механизме физиологических эффектов окиси азота и в регуляции процесса агрегации тромбоцитов. Бюл. эксперим. биол. Мед 1995; (3): 230 -235.
17. Ignarro L. J., Buga G. M., Wood K. S., et al. Endothelium-derived relaxing factor produced and released from artery and vein is nitric oxide. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 1987; 84: 9265–9269.
18. Ignarro L. J., Lippton H., Edwards J. C., et al. Mechanism of vascular smooth muscle relaxation by organic nitrates, nitrites, nitroprusside and nitric oxide: evidence for the involvement of S-nitrosothiols as active intermediates. J. Pharm. Exp. Ther. 1981; 218: 739–749.
19. Северина И.С. Растворимая гуанилатциклаза в молекулярном механизме физиологических эффектов окиси азота. Биохимия 1998; 63 (7): 939 – 997.
20. Furchgott R. F., Jothianandan D. Endothelium-dependent and -independent vasodilation involving cyclic GMP: relaxation induced by nitric oxide, carbon monoxide and light. Blood Vessels 1991; 28 (1–3): 52–61.
21. Knowles R. G., Palacios M., Palmer R. M., et al. Formation of nitric oxide from L-arginine in the central nervous system: a transduction mechanism for stimulation of the soluble guanylate cyclase. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 1989; 86: 5159–5162.
22. Малышев И.Ю., Манухина Е.Б. Стресс, адаптация и оксид азота. Биохимия 1998; 63 (7): 992 - 1006.
23. Холодов Ю.А., Н.Н. Лебедева Реакция нервной системы человека на электромагнитные поля. М.: Наука 1992; 187с.
24. Холодов Ю.А. Мозг в электромагнитных полях. М.: Наука 1982; 123с.
25. Антипов В.В., Давыдов Б.И., Тихончук В.С. Космич. Исслед 1981; 19: 649-653.
26. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н. История становления КВЧ-терапии и десятилетние итоги работы Медикотехнической ассоциации КВЧ. Миллиметровые волны в биологии и медицине 2002; (4): 10-17.
27. Киричук В.Ф., Андронов Е.В., Мамонтова Н.В. и др. Применение электромагнитного излучения терагерцового диапазона для коррекции показателей реологии крови у больных нестабильной стенокардией на фоне действия донатора NO изокета. Бюллетень экспериментальной биологии и медицины 2008; 145 (9): 266-271.
28. Киричук В.Ф., Головачева Т.В., Чиж А.Г. КВЧ-терапия. М.: СГМУ 1999; 360 с.
29. Киричук В.Ф. Достижения саратовской школы в изучении влияния электромагнитных волн КВЧ- и ТГЧ- диапазонов на человека и животных. Миллиметровые волны в биологии и медицине 2007; (3-4): 6-62.
30. Киричук В.Ф. КВЧ-терапия в комплексном лечении заболеваний сердечно-сосудистой системы. Саратовский научно-медицинский вестник 2004; (2): 47-63.
31. Чуюн Е.Н., Горная О.И. Изменение двигательной активности животных с разным профилем моторной асимметрии в условиях гипокинезии. Физика живого 2009; 17 (2): 193 - 198.
32. Бецкий О.В., Креницкий А.П., Майборodin А.В. и др. Патент на полезную модель, №50835, 2006.
33. Иванов А.Н. Автореферат на соиск. ученой степени докт. мед. наук. Саратов, 2012; 37-38.

Авторы:

Антипова О. Н. (Antipova Olga Nikolaevna) – д.м.н., профессор кафедры нормальной физиологии им. И.А. Чувского ГБОУ ВПО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России.

Киричук В. Ф. (Kirichuk Vyacheslav Fedorovich) – заслуженный деятель науки РФ, академик МАНВШ, РАМТН, РАВН, профессор, д.м.н., заведующий кафедрой нормальной физиологии им. И.А. Чувского ГБОУ ВПО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России.

Крылова Я. А. (Krylova Yana Aleksandrovna) – аспирант кафедры нормальной физиологии им. И.А.Чувского ГБОУ ВПО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России.