

СУММАРНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫС ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ИШЕМИИ-РЕПЕРФУЗИИ И ДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

М.Ю. Раваева

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
295007, Российская Федерация, Республика Крым, Симферополь, пр-т Академика Вернадского, 4

Исследование направлено на установление изменения показателей суммарной электрической активности головного мозга в условиях превентивного 10-кратного электромагнитного излучения крайне высокой частоты (КВЧ-воздействия) при моделировании ишемии-реперфузии головного мозга у крыс. Показано, что превентивное КВЧ-воздействие оказывает нейропротекторный эффект, проявляющийся в увеличении суммарной электрической активности головного мозга при моделировании ишемии-реперфузии (особенно на этапах ишемии спустя 30 мин и реперфузии на 30-й мин), что соответствует параметрам улучшения организации ритмической активности нервной системы.

Ключевые слова: ишемия-реперфузия головного мозга, электроэнцефалография, альфа-, бета-, дельта-, тета-ритмы, электромагнитное излучение крайне высокой частоты, крысы

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: работа выполнена в рамках проекта РНФ № 23-24-00332 «Тканевая микрогемодинамика: механизмы антистрессорного действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения».

Для цитирования: Раваева М.Ю. Суммарная электрическая активность головного мозга крыс при моделировании ишемии-реперфузии и действии электромагнитного излучения крайне высокой частоты. *Биомедицина*. 2025;21(3):122–126. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-21-3-122-126>

Поступила 15.04.2025

Принята после доработки 16.06.2025

Опубликована 10.09.2025

TOTAL ELECTRICAL ACTIVITY OF THE RAT BRAIN IN MODELLED ISCHEMIA-REPERFUSION UNDER THE ACTION OF ULTRAHIGH-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC RADIATION

Marina Yu. Ravaeva

V.I. Vernadsky Crimean Federal University
295007, Russian Federation, Republic of Crimea, Simferopol, Academician Vernadsky Ave., 4

The author investigates changes in the indicators of the total electrical activity of the rat brain under conditions of preventive 10-fold UHF exposure during modeling of cerebral ischemia-reperfusion. Preventive UHF exposure was shown to exhibit a neuroprotective effect, manifested in an increase in the total electrical activity of the brain during modeling of ischemia-reperfusion (in particular, at the stages of ischemia after 30 min and reperfusion at the 30th min). This corresponds to the parameters of improving the organization of rhythmic activity of the nervous system.

Keywords: cerebral ischemia-reperfusion, electroencephalography, alpha, beta, delta, theta rhythms, extremely high-frequency electromagnetic radiation, rats

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Funding: the work was carried out within the framework of the RSF project No. 23-24-00332 “Tissue microhemodynamics: mechanisms of the anti-stress action of low-intensity millimeter radiation”.

For citation: Ravaeva M.Yu. Total Electrical Activity of the Rat Brain in Modelled Ischemia-Reperfusion under the Action of Ultrahigh-Frequency Electromagnetic Radiation. *Journal Biomed.* 2025;21(3): 122–126. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-21-3-122-126>

Submitted 15.04.2025

Revised 16.06.2025

Published 10.09.2025

Введение

Разработка эффективных препаратов для профилактики и лечения ишемии головного мозга остается целью исследователей в этой области, но многие доклинические эффективные препараты заканчиваются клинической неудачей или имеют ограничения в своем широком применении. Поэтому назрела необходимость в поиске средств, которые были бы эффективны при развитии ишемических катастроф. Одним из таких средств может являться низкоинтенсивное электромагнитное излучение крайне высокой частоты, или миллиметрового диапазона, которое давно применяется в медицине и обладает широким спектром биологической активности.

Однако область применения данного физического фактора недостаточно исследована, и с этой целью нами предпринята попытка установить эффективность электромагнитного излучения крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ) при развитии ишемического повреждения головного мозга.

Цель исследования — установить изменения показателей суммарной электрической активности головного мозга в условиях превентивного 10-кратного КВЧ-воздействия при моделировании ишемии-реперфузии головного мозга у крыс.

Материалы и методы

Исследование проведено в соответствии с ГОСТ Р-53434-2009 от 02.12.2009,

Правилами Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и иных научных целей, «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных», Правилами лабораторной практики при проведении доклинических исследований и одобрено решением Этического комитета ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского».

Экспериментальные животные

Эксперимент проводился на 30 половозрелых крысах-самцах популяции линий Wistar массой 220–250 г («ФГУП «Питомник лабораторных животных «Рапполово», Ленинградская обл.).

Дизайн исследований

Животные были разделены на 3 группы по 10 особей в каждой: 1) ложнооперированные (ЛО) — 10 животных, которым проводилось оперативное вмешательство по плану эксперимента, но наложения клипсы на общую сонную артерию не проводилось; 2) ишемия — 10 особей, перенесших смоделированную ишемическую атаку путем окклюзии левой сонной артерии; 3) КВЧ — 10 особей, которых перед моделированием ишемии (и наложением клипсы на левую общую сонную артерию) подвергали 10-кратному превентивному КВЧ-воздействию.

Моделирование ишемии осуществлялось хирургическим путем под золетил-медитиновой анестезией, с выделением с последующей окклюзией левой общей сонной

артерии с помощью накладывания клипсы (ПТО «Медтехника», Россия) на 30 мин (период ишемии). По истечении 30 мин ишемии после снятия клипсы пережатие сосуда прекращается и восстанавливается кровоток — период реперфузии.

Регистрация энцефалограммы (ЭЭГ) проводилась через 1 и 30 мин после наложения клипсы на ОСА (период ишемии), а также через 1 и 30 мин периода реперфузии. ЭЭГ регистрация осуществлялась с помощью электроэнцефалографа «Нейрософт» «Нейрон-Спектр-5» (ООО «Пакс Мед», Россия). Основными показателями при анализе ЭЭГ были: общая мощность спектра, амплитуды ритмов дельта-, тета-, альфа- и бета-диапазонов, которые регистрировались в лобных отведениях F3–A1 (справа) и F4–A2 (слева).

КВЧ-воздействие проводилось на шейно-затылочную область крыс в течение 30 мин, ежедневно, 10 сеансов в утреннее время. Технические характеристики генератора: рабочая длина волны — 7,1 мм, плотность потока мощности облучения — 12 мВт/см² с помощью аппарата облучения КВЧ «КВЧ-НД» (ООО «Научно-коммерческая фирма РЭСЛА», Россия, Декларация соответствия № РОСС RU. ME67.D00227, Рег. удостов. № ФСР 2007/00763 от 18.09.2007).

Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета Graph Pad Prism 9.0. Оценка достоверности межгрупповых различий проводили непараметрическим критерием множественных сравнений Краскела — Уоллиса. Различия считались достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

При ишемии происходит изменение деятельности головного мозга, что проявляется в изменении ЭЭГ-показателей. Так, на первой минуте ишемии происходило повышение амплитудных показателей ЭЭГ по сравнению с группой ЛО.

В отведении F3–A1 тета-ритм, низко- и высокочастотный бета-ритм возрастают на 21% ($p < 0,05$), 128% ($p < 0,05$), 96% ($p < 0,05$) соответственно по отношению к ложноперированным крысам. Однако альфа-ритм, наоборот, снизился на 24% ($p < 0,05$), а дельта-ритм достоверно увеличился. Спустя 30 мин с момента возникновения ишемии показатели в отведении F3–A1 снижаются: дельта- и альфа-ритмы — на 25% ($p < 0,05$) и 35% ($p < 0,05$) соответственно, а низко- и высокочастотные бета-ритмы увеличиваются на 168% ($p < 0,05$) и 90% ($p < 0,05$) соответственно по отношению к ЛО. При реперфузии, во время прекращения фиксации сонной артерии, активность головного мозга повышается. Так, в отведении F3–A1 дельта-ритм увеличился на 38% ($p < 0,05$), низко- и высокочастотный ритмы — на 180% ($p < 0,05$) и 315% ($p < 0,05$) соответственно, а тета- и альфа-ритмы возросли, но достоверно по сравнению с ЛО. Спустя 30 мин после снятия клипсы показатели ЭЭГ в отведении F3–A1 возрастают в отношении к реперфузии на 1-й мин, приближаясь к исходному уровню до операции, но в сравнении с ЛО подъем показателей несущественный, и на общем фоне отмечается снижение ритмов. Так, дельта-, тета-, альфа- и высокочастотный бета-ритм снизились на 38% ($p < 0,05$), 73% ($p < 0,05$), 73% ($p < 0,05$) и 40% ($p < 0,05$) соответственно по сравнению с таковыми у ЛО.

В отведении F4–A2 при ишемии на 1-й мин все ритмы снижаются по отношению к ЛО: дельта-ритм — на 50% ($p < 0,05$), тета-ритм — на 39% ($p < 0,05$), альфа-ритм — на 81% ($p < 0,05$), низко- и высокочастотный тета-ритм — на 85% ($p < 0,05$) и 92% ($p < 0,05$) соответственно. Через 30 мин ишемии в отведении F4–A2 активность головного мозга снижается по отношению к ЛО: дельта-ритм уменьшается на 37% ($p < 0,05$), тета-ритм — на 59% ($p < 0,05$), альфа-ритм — на 66% ($p < 0,05$), низко- и высокочастотный бета-ритм — на 56% ($p < 0,05$)

и 59% ($p<0,05$) соответственно. При реперфузии, во время прекращения фиксации сонной артерии, активность головного мозга повышается. Так, в отведении F4–A2 показатели дельта- и тета-ритма недостоверно возрастают по сравнению с ЛО. Альфа-ритм, наоборот, снизился на 74% ($p<0,05$), а низко- и высокочастотный бета-ритм снизились недостоверно. Спустя 30 мин после снятия клипсы показатели ЭЭГ в отведении F4–A2 возрастают по отношению к реперфузии на 1-й мин, приближаясь к исходному уровню до операции, но в сравнении с ЛО. Так, тета- и альфа-ритм снизились на 57% ($p<0,05$) и 68% ($p<0,05$) соответственно. Дельта-, низко- и высокочастотный бета-ритм также снижаются, но не достоверно.

В группе животных, подвергшихся 10-кратному КВЧ-воздействию (КВЧ), большинство показателей ЭЭГ по сравнению с группой Ишемия увеличилось. Так, на всех этапах моделирования ишемии головного мозга достоверно повышаются дельта-, тета- и альфа-ритм в отведении F3–A1 по сравнению с группой Ишемия. При ишемии (1 мин) дельта-ритм увеличился на 33% ($p<0,05$), тета-ритм — на 114% ($p<0,05$), а альфа-ритм — на 147% ($p<0,05$) по отношению к группе Ишемия. Спустя 30 мин после ишемии дельта-ритм увеличился на 247% ($p<0,05$), тета-ритм — на 182%, а альфа-ритм — на 32% ($p<0,05$) по сравнению с группой Ишемия. При реперфузии данные ритмы повысились на 336% ($p<0,05$), 87% ($p<0,05$) и 125% ($p<0,05$) соответственно. А при реперфузии на 30-й мин продолжились повышаться на 429% ($p<0,05$), 309% ($p<0,05$) и 109% ($p<0,05$) соответственно по отношению к группе Ишемия.

В отведении F4–A2 дельта-, тета- и альфа-ритм увеличиваются лишь на этапах ишемии спустя 30 мин и реперфузии на 30-й мин по сравнению с группой Ишемия. Так, на 30-й мин ишемии дельта-ритм увеличился на 98% ($p<0,05$) и тета-ритм — на 73% ($p<0,05$) по отношению к группе ишемии.

А на этапе реперфузии 30-й мин дельта-ритм повышается на 210% ($p<0,05$), тета-ритм — на 126% ($p<0,05$) и альфа-ритм — на 69% ($p<0,05$) по сравнению с группой Ишемия. В обоих отведениях бета-ритм уменьшался.

Эти данные свидетельствуют о том, что КВЧ-воздействие способствует увеличению электрической активности головного мозга, особенно на этапах ишемии спустя 30 мин и реперфузии на 30-й мин, что отражает его нейропротекторный эффект.

Заключение

Как показали результаты исследования, при моделировании ишемии головного мозга у животных отмечается подавление ЭЭГ-активности в обоих отведениях. Наиболее ярко картина изменений активности головного мозга наблюдается при ишемии на 30-й мин и выражается в уменьшении суммарной активности в левом полушарии (F4–F2) головного мозга за счет уменьшения амплитуд дельта-, альфа-, тета- и бета-ритма. На начальном этапе реперфузии (1 мин) частично восстанавливается мощность дельта- и тета-ритма, однако к 30-й мин реперфузии мощности данных ритмов снижаются. Непрерывный мозговой кровоток имеет решающее значение для поддержания обязательной метаболической функции церебральных нейронов. Оклюзия этих потоков вызывает нарушение клеточной метаболической функции, и, как следствие, электрогенез нейронов значительно снижается.

Превентивное КВЧ-воздействие оказывает нейропротекторный эффект, проявляющийся в увеличении суммарной электрической активности головного мозга при моделировании ишемии-реперфузии (особенно на этапах ишемии спустя 30 мин и реперфузии на 30-й мин) по сравнению с таковыми у животных в группе Ишемия, что соответствует параметрам улучшения организации ритмической активности нервной системы.

Известно, что центральная нервная система — самая чувствительная к электромагнитным полям. Полученные в настоящем исследовании данные согласуются с известными. Так, анализ биоэлектрической активности головного мозга у больных с ранними формами церебрального атеросклероза показал, что после проведения КВЧ-терапии развиваются процессы синхронизации, при этом спектральная мощность медленных волн уменьшается, что указывает на нормализацию функционального состояния головного мозга человека [1]. Эти изменения коррелируют с улучшением состояния больных: повышением работоспособности, исчезновением головокружения, уменьшением головных

болей. Накопленный материал клинических наблюдений показал эффективность КВЧ-терапии у больных с преходящими нарушениями мозгового кровообращения, при острых нарушениях мозгового кровообращения, дисциркуляторной энцефалопатии [2]. Хороший терапевтический эффект получен при использовании КВЧ-пунктуры и терапии фоновым резонансным излучением при невралгии тройничного нерва, рассеянном склерозе, невротической депрессии, цефалгии сосудистого генеза [3-5].

Можно заключить, что КВЧ-воздействие является эффективным нейропротектором, улучшая организацию ритмической активности головного мозга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Голант М.Б., Савостьянова Н.А. *Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ*. 1989;6(420):48–53. [Golant M.B., Savostyanova N.A. *Elektronnaya tehnika. Ser. Elektronika SVCh* [Electronic equipment. Ser. Microwave Electronics]. 1989;6(420):48–53. (In Russian)].
2. Истомина И.С., Довганюк А.П., Бижек М.Х. *Тезисы докладов 7-й городской и науч.-практ. конф. «Медицинская реабилитация больных с патологией опорно-двигательной и нервной систем»*. М., 2006:247–248. [Istomina I.S., Dovganyuk A.P., Bizhek M.H. *Tezisy dokladov 7-j gorodskoj i nauch.-prakt. konf. Medicinskaya reabilitaciya bol'nyh s patologiej oporno-dvigatel'noj i nervnoj sistem* [Abstracts of the 7th city and scientific-practical conf. Medical rehabilitation of patients with pathologies of the musculoskeletal and nervous systems]. Moscow, 2006:247–248. (In Russian)].
3. Лавриненко Н.Н., Сиротенко И.В. *Информационно-волновые технологии в комплексной реабилитации пациентов в лечебных и санаторно-курортных учреждениях. Мат.-лы науч. конф.* Томск, 2004:99–100. [Lavrinenko N.N., Sirotenko I.V. *Informacionno-volnovye texnologii v kompleksnoj reabilitacii pacien-*
- tov v lechebnyh sanatorno-kurortnyh uchrezhdeniyah. Mat-ly nauch. konf. [Information-wave technologies in complex rehabilitation of patients in medical and health resort institutions. Proceedings of the scientific conference]*. Tomsk, 2004:99–100. (In Russian)].
4. Пашнин А.Г. *Миллиметровые волны в медицине и биологии: Сб. докладов 14-го Российского симпозиума с международным участием*. М., 2007:36–40. [Pashnin A.G. *Millimetrovye volny v medicine i biologii: Sb. dokladov 14-go Rossijskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem* [Millimeter waves in medicine and biology: Collection of papers from the 14th Russian Symposium with International Participation]. Moscow, 2007:36–40. (In Russian)].
5. Ронкин М.А., Бецкий О.В., Максименко И.М. *Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине: Сб. докладов международного симпозиума*. М., 1991;1:263–266. [Ronkin M.A., Betsky O.V., Maksimenko I.M. *Millimetrovye volny neteplovoj intensivnosti v medicine: Sb. dokladov mezhdunarodnogo simpoziuma* [Non-thermal millimeter waves in medicine: Collection of papers from the international symposium]. Moscow, 1991;1:263–266. (In Russian)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ | INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Раваева Марина Юрьевна, к.б.н., доц., ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»;
e-mail: ravaevam@yandex.ru

Marina Yu. Ravaeva, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., V.I. Vernadsky Crimean Federal University;
e-mail: ravaevam@yandex.ru